



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ

**“APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA INVERSA EN OBTENER LA
GEOMETRÍA DEL SISTEMA CONO Y CORONA PARA LA
GENERACIÓN DEL CÓDIGO ISO Y SU MODELAMIENTO DE
MANUFACTURA APLICADO A VEHÍCULOS PICK UP”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

EDISON JAVIER RIVERA GUANANGA

MIGUEL ANGEL TOAPANTA MALLITASIG

Riobamba - Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ

**“APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA INVERSA EN OBTENER LA
GEOMETRÍA DEL SISTEMA CONO Y CORONA PARA LA
GENERACIÓN DEL CÓDIGO ISO Y SU MODELAMIENTO DE
MANUFACTURA APLICADO A VEHÍCULOS PICK UP”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: EDISON JAVIER RIVERA GUANANGA

MIGUEL ANGEL TOAPANTA MALLITASIG

DIRECTOR: Ing. JUAN CARLOS ROCHA HOYOS M.Sc.

Riobamba - Ecuador

2022

© 2022, Edison Javier Rivera Guananga & Miguel Angel Toapanta Mallitasig

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Edison Javier Rivera Guananga y Miguel Angel Toapanta Mallitasig, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 13 de abril de 2022.



Edison Javier Rivera Guananga

CI: 230021259-0



Miguel Angel Toapanta Mallitasig

CI: 050432937-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación: Tipo: Proyecto de Investigación, **APLICACIÓN DE LA INGENIERÍA INVERSA EN OBTENER LA GEOMETRÍA DEL SISTEMA CONO Y CORONA PARA LA GENERACIÓN DEL CÓDIGO ISO Y SU MODELAMIENTO DE MANUFACTURA APLICADO A VEHÍCULOS PICK UP**, realizado por los señores: **EDISON JAVIER RIVERA GUANANGA Y MIGUEL ANGEL TOAPANTA MALLITASIG**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.




	FIRMA	FECHA
Ing. Edgar Fabián Sánchez Carrión Mag. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-04-13
Ing. Juan Carlos Rocha Hoyos M.Sc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2022-04-13
Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla Mag. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-04-13

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1. Diferencial automotriz.....	4
1.1.1. <i>Partes del diferencial.....</i>	4
1.1.2. <i>Funcionamiento del diferencial.....</i>	5
1.1.3. <i>Tipos de Engranajes.....</i>	6
1.1.3.1. <i>Engranajes cónicos rectos.....</i>	6
1.1.3.2. <i>Engranajes cónicos helicoidales.....</i>	7
1.1.3.3. <i>Engranajes hipoides.....</i>	7
1.1.4. <i>Configuración como primitivo y complementario.....</i>	8
1.1.5. <i>Métodos de fabricación.....</i>	9
1.2. Ingeniería inversa y desagregación tecnológica.....	9
1.2.1. <i>Ingeniería inversa.....</i>	10
1.2.2. <i>Desagregación tecnológica.....</i>	11
1.3. Escáner 3d.....	12
1.3.1. <i>Tipos de escáner 3d.....</i>	13
1.3.1.1. <i>Escáner 3d de contacto.....</i>	13
1.3.1.2. <i>Escáner 3d de no contacto.....</i>	13
1.4. Fotogrametría.....	14
1.5. Nuevas tecnologías de manufactura.....	15
1.5.1. <i>Mecanizado CNC.....</i>	15
1.5.2. <i>Sistemas CAD/CAM.....</i>	16
1.5.2.1. <i>Metodología para la producción a través de CAD/CAM.....</i>	16
1.6. Software empleados para la obtención del modelo 3D.....	17
1.6.1. <i>Agisoft MetaShape.....</i>	17

1.6.2.	<i>Geomagic</i>	18
1.7.	Análisis de Estudios Previos	18

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	22
2.1.	Metodología implementar	22
2.2.	Desarrollo de la metodología	25
2.2.1.	Adquisición de Datos 3D	25
2.2.1.1.	<i>Selección del tipo de escáner</i>	25
2.2.1.2.	<i>Especificaciones técnicas</i>	25
2.2.1.3.	<i>Análisis y selección de la técnica de fotogrametría a emplear</i>	26
2.2.1.4.	<i>Selección de la mejor alternativa</i>	27
2.2.1.5.	<i>Preparación del objeto</i>	27
2.2.1.6.	<i>Acceso al software Agisoft</i>	28
2.2.2.	Post procesamiento del escaneo	33
2.2.2.1.	<i>Edición del archivo en el software Geomagic</i>	33
2.2.3.	Generación de la geometría CAD	39
2.2.3.1.	<i>Importación del modelo generado</i>	39
2.2.4.	Validación del CAD	40
2.2.4.1.	<i>Medición de dimensiones del objeto real</i>	40
2.2.4.2.	<i>Medición de dimensiones del modelo CAD</i>	42
2.2.4.3.	<i>Aceptación del modelo</i>	43
2.2.5.	Simulación con elementos finitos	44
2.2.5.1.	<i>Definición de variables</i>	44
2.2.5.2.	<i>Importación y simplificación de la geometría</i>	47
2.2.5.3.	<i>Definición de material</i>	¡Error! Marcador no definido.
2.2.5.4.	<i>Generación del mallado</i>	50
2.2.5.5.	<i>Definición de condiciones de borde y contacto</i>	53
2.2.5.6.	<i>Definición del torque de conjunto</i>	55
2.2.5.7.	<i>Configuraciones de simulación</i>	57
2.2.5.8.	<i>Configuración de soluciones presentadas</i>	58
2.2.6.	Procesamiento CAM	60
2.2.6.1.	<i>Determinación de actividades de mecanizado empleando el software CAM</i>	60
2.2.6.2.	<i>Maquinado de Corona (DMAX)</i>	61
2.2.6.3.	<i>Maquinado de Cono (DMAX)</i>	68
2.2.6.4.	<i>Generación del código G</i>	73

CAPÍTULO III

3.	RESULTADOS.....	75
3.1.	Validación del modelado 3D.....	75
3.2.	Simulación de cargas en el sistema cono-corona D-Max y Wingle.....	76
3.3.	Generación código G.....	84
3.4.	Discusión de los resultados.....	89

CONCLUSIONES	92
---------------------------	-----------

RECOMENDACIONES.....	94
-----------------------------	-----------

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Especificaciones técnicas Huawei Y7.....	25
Tabla 2-2:	Criterios y ponderaciones.....	27
Tabla 3-2:	Evaluación y selección de alternativas.....	27
Tabla 4-2:	Propiedades mecánicas AISI 4140 (Templado y enfriado a 205°C).....	50
Tabla 5-2:	Calidad y cantidad de nodos y elementos en DMAX.....	52
Tabla 6-2:	Calidad y cantidad de nodos y elementos en Wingle.....	53
Tabla 7-2:	Herramental y proceso para Corona DMAX.....	60
Tabla 8-2:	Herramental y proceso para Cono DMAX.....	69
Tabla 1-3:	Cuadro comparativo Corona D-Max.....	75
Tabla 2-3:	Cuadro comparativo Cono D-Max.....	75
Tabla 3-3:	Cuadro comparativo Corona Wingle.....	76
Tabla 4-3:	Cuadro comparativo Cono Wingle.....	76
Tabla 5-3:	Resultados sobre Esfuerzos de Von Mises para cono y corona D-Max.....	77
Tabla 6-3:	Resultados sobre Deformación total para cono y corona D-Max.....	78
Tabla 7-3:	Resultados sobre Factor de seguridad en cono y corona D-Max.....	79
Tabla 8-3:	Resultados sobre Esfuerzos de Von Mises en cono y corona Wingle.....	81
Tabla 9-3:	Resultados sobre Deformación total en cono y corona Wingle.....	82
Tabla 10-3:	Resultados sobre Factor de seguridad en cono y corona Wingle.....	83
Tabla 11-3:	Comparación de deformación D-MAX vs Wingle.....	89
Tabla 12-3:	Comparación de Esfuerzos D-MAX vs Wingle.....	90
Tabla 13-3:	Comparación de Factor de seguridad D-MAX vs Wingle.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Elementos del diferencial.....	5
Figura 2-1:	Esquema de posición de ruedas en una curva.....	6
Figura 3-1:	Engranajes cónicos rectos	6
Figura 4-1:	Engranajes cónicos helicoidales.....	7
Figura 5-1:	Engranajes hipoides.....	8
Figura 6-1:	Geometría de los engranajes cónicos.....	8
Figura 7-1:	Dimensiones principales de los engranajes cónicos	9
Figura 8-1:	Fabricación de engranajes.....	9
Figura 9-1:	Esquemas de comparación del tipo de ingenierías.....	11
Figura 10-1:	Fases de adopción tecnológica.....	12
Figura 11-1:	Esquema de escaneado 3D	13
Figura 12-1:	Escáner 3D por contacto	13
Figura 13-1:	Escáner 3D por luz estructurada	14
Figura 14-1:	Escáner 3d estereoscopio	14
Figura 15-1:	Aplicación de fotogrametría.....	15
Figura 16-1:	Tomeado CNC.....	16
Figura 17-1:	Sistemas CAD/CAM.....	16
Figura 18-1:	Nube de puntos en Agisoft.....	18
Figura 1-2:	Metodología de la propuesta.....	24
Figura 2-2:	Huawei Y7.....	25
Figura 3-2:	Piñón con talco siendo escaneado	28
Figura 4-2:	Conjuntos D-MAX y Wingle.....	28
Figura 5-2:	Interfaz del Software Agisoft.....	29
Figura 6-2:	Carga de fotos adquiridas.....	29
Figura 7-2:	Orientación de fotos adquiridas	30
Figura 8-2:	Componente libre de puntos innecesarios.....	30
Figura 9-2:	Creación de nube de puntos.....	31
Figura 10-2:	Nube de puntos de calidad media.....	31
Figura 11-2:	Mallado de nube de puntos.....	31
Figura 12-2:	Resultado del mallado de la nube de puntos.....	32
Figura 13-2:	Formato a guardar del modelo obtenido	32
Figura 14-2:	Modelo exportado a software Geomagic	33
Figura 15-2:	Suavizado del modelo.....	33
Figura 16-2:	Extrusión del modelo Corona.....	34

Figura 17-2:	Selección de diente en la Corona	34
Figura 18-2:	Forma obtenida del diente de la corona	35
Figura 19-2:	Generado de los dientes de la corona.....	35
Figura 20-2:	Producto final de la corona en Geomagic	35
Figura 21-2:	Centrado del cono.....	36
Figura 22-2:	Extrusión del modelo Cono	36
Figura 23-2:	Selección de diente en Cono.....	37
Figura 24-2:	Forma obtenida del diente del cono.....	37
Figura 25-2:	Generación de los dientes del cono	37
Figura 26-2:	Producto final de cono en Geomagic.....	38
Figura 27-2:	Corona y Cono Wingle generados en Geomagic	38
Figura 28-2:	Cono importado a Solidworks	39
Figura 29-2:	Mango del cono modelado.	39
Figura 30-2:	Corona importada a Solidworks.....	40
Figura 31-2:	Generación de ensamble del sistema	40
Figura 32-2:	Huella de la cresta	41
Figura 33-2:	Medición cono Wingle.....	41
Figura 34-2:	Medición cono D-Max.....	42
Figura 35-2:	Medición corona D-Max	42
Figura 36-2:	Medición de dimensiones del modelo 3D de la corona D-Max en software SolidWorks	42
Figura 37-2:	Medición de dimensiones del modelo 3D del cono D-Max en SolidWorks	43
Figura 38-2:	Ángulos de inclinación dientes para corona D-Max.....	44
Figura 39-2:	Configuración 30°-14° para ángulo de inclinación dientes conjunto D-Max....	45
Figura 40-2:	Configuración 18°- 18° para ángulo de inclinación dientes conjunto D-Max... 45	
Figura 41-2:	Configuración 14.5°- 14.5° para ángulo de inclinación dientes conjunto D-Max.....	46
Figura 42-2:	Ángulos de inclinación para corona Wingle.....	46
Figura 43-2:	Configuración 30°-14° para ángulo de inclinación dientes conjunto Wingle ...	46
Figura 44-2:	Configuración 18°-18° para ángulo de inclinación dientes conjunto Wingle ...	47
Figura 45-2:	Configuración 14.5°-14.5° para ángulo de inclinación dientes conjunto Wingle.....	47
Figura 46-2:	Simplificación geométrica de la configuración cono y corona para D-Max	48
Figura 47-2:	Formato de archivo de la geometría simplificada	48
Figura 48-2:	Importación de la geometría simplificada.....	49
Figura 49-2:	Geometría importada de Solidworks	49
Figura 50-2:	Definición del material	50

Figura 51-2:	Definición del mallado.....	51
Figura 52-2:	Componentes mallados en su totalidad.....	51
Figura 53-2:	Definición de parámetros de contacto	54
Figura 54-2:	Selección de contactos en cono y corona	54
Figura 55-2:	Especificaciones técnicas DMAX.....	55
Figura 56-2:	Especificaciones técnicas Wingle	56
Figura 57-2:	Definición de condiciones de borde	57
Figura 58-2:	Configuración del análisis.....	58
Figura 59-2:	Configuración esfuerzos Von Mises y Deformación.....	58
Figura 60-2:	Configuración de Factor de seguridad y Ciclo de vida.....	59
Figura 62-2:	Resumen de operaciones Corona D-MAX.....	61
Figura 63-2:	Configuración inicial del proceso Corona DMAX.....	62
Figura 64-2:	Clearance del proceso Corona DMAX	62
Figura 65-2:	Herramental para desbaste corona.....	63
Figura 66-2:	Herramental para semi acabado corona	63
Figura 67-2:	Herramental para acabado Corona	63
Figura 68-2:	Configuración de velocidad de desbaste corona	64
Figura 69-2:	Configuración de velocidad de semi acabado corona.....	64
Figura 70-2:	Configuración de velocidad de acabado Corona.....	64
Figura 71-2:	Configuración paso de desbaste corona	65
Figura 72-2:	Configuración de paso de semi acabado Corona	65
Figura 73-2:	Configuración paso de acabado Corona DMAX.....	66
Figura 74-2:	Producto final Corona DMAX.....	66
Figura 75-2:	Taladrado en corona	67
Figura 76-2:	Herramental para Taladrado en corona.....	67
Figura 77-2:	Velocidad de corte y profundidad para Taladrado en corona.....	68
Figura 78-2:	Configuración cono DMAX.....	68
Figura 79-2:	Herramental para desbaste cono.....	69
Figura 80-2:	Herramental para semi acabado cono	69
Figura 81-2:	Herramental para acabado cono.....	70
Figura 82-2:	Velocidades de desbaste y semi acabado	70
Figura 83-2:	Velocidad de corte para acabado cono.....	70
Figura 84-2:	Configuración de paso de desbaste Cono.....	71
Figura 85-2:	Configuración de paso de semi acabado cono	71
Figura 86-2:	Configuración de paso de acabado cono.....	72
Figura 87-2:	Configuración del paso para el roscado Cono	72
Figura 88-2:	Producto final Cono DMAX.....	73

Figura 89-2:	Generación de Código	73
Figura 90-2:	Código G corona D-Max.....	74
Figura 1-3:	Ciclo de vida en cono y corona DMAX.....	80
Figura 2-3:	Ciclo de vida en cono y corona Wingle.....	84
Figura 3-3:	Actividades de maquinado en la corona.....	85
Figura 4-3:	Desbaste superior corona D-max	85
Figura 5-3:	Acabado posterior corona D-max.....	86
Figura 6-3:	Acabado superior corona D-max.....	86
Figura 7-3:	Actividades de Maquinado del cono.....	87
Figura 8-3:	Desbaste del cono Dmax.....	87
Figura 9-3:	Semiacabado y perfilado de los dientes cono Dmax	88
Figura 10-3:	Acabado del mango cono Dmax	88
Figura 11-3:	Visualización de mecanizado del conjunto D-max (fila superior) y Wingle (fila inferior).....	89

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Calidad y cantidad de elementos obtenidos en mallado D-MAX.....	52
Gráfico 2-2:	Calidad y cantidad de elementos obtenidos en mallado Wingle	53
Gráfico 1-3:	Esfuerzos variables en el tiempo en cono y corona D-MAX.....	80
Gráfico 2-3:	Esfuerzos variables en el tiempo en cono y corona Wingle	84

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A:	PROPIEDADES MECÁNICAS ACERO AISI 4040
ANEXO B:	HERRAMENTALES
ANEXO C:	PLANOS CONO- CORONA DMAX
ANEXO D:	PLANOS CONO- CORONA WINGLE
ANEXO E:	CÓDIGOS ISO CONO DMAX
ANEXO F:	CÓDIGOS ISO CORONA DMAX
ANEXO G:	CÓDIGOS ISO CONO WINGLE
ANEXO H:	CÓDIGOS ISO CORONA WINGLE
ANEXO I:	IMÁGENES CONO DMAX
ANEXO J:	IMÁGENES CORONA DMAX
ANEXO K:	IMÁGENES CONO WINGLE
ANEXO L:	IMÁGENES CORONA WINGLE

RESUMEN

El objetivo del presente proyecto de investigación fue aplicar la ingeniería inversa al sistema cono-corona mediante simulación 3D para obtener su geometría, la generación del código ISO y sus procesos de manufactura. Para ello se utilizó dos conjuntos cono-corona: D-MAX 3.0 Diésel 4X2 y Wingle 5 2.2 CD 4X2, con relación de transmisión 45:11 y 41:10 respectivamente. Se determinó la técnica de escaneo a emplear, seguido de un post-procesamiento del escaneo que optimice la calidad del modelo de tal forma que sea apto para exportarlo hacia un software CAD, en donde se realizó un proceso de reconstrucción empleando diversas técnicas. El modelo generado fue validado mediante un método de comparación con el objeto real, posteriormente cada modelo computarizado fue evaluado mediante un proceso de simulación por elementos finitos incluyendo tres configuraciones del ángulo de inclinación de los dientes: original, 18°-18° y 14.5°-14.5°, en donde se analizó los esfuerzos, deformaciones, factores de seguridad y el ciclo de vida del material bajo condiciones de trabajo. Además, los modelos validados fueron exportados a un software CAM para ejecutar procesos de mecanizado de desbaste, semi-acabado y acabado seguidamente la generación de códigos ISO. Los resultados mostraron que mediante el proceso de escaneo por fotogrametría se logró obtener modelos CAD con una aproximación del 95% a las piezas reales, por lo que los modelos digitales pueden aceptarse sin arriesgar el diseño de la pieza para realizar su análisis mediante simulación computacional. Por medio de los elementos finitos se concluye que la configuración original del sistema cono-corona es la más óptima, indicando que el material seleccionado es adecuado para llevarlo a un proceso CAM. Previo a efectuar el escaneo 3D es recomendable limpiar los objetos a trabajar, además las partes a escanear deben presentar una superficie de incidencia opaca.

Palabras clave: <INGENIERÍA INVERSA> <ELEMENTOS FINITOS>
<FOTOGRAMETRÍA><MECANIZADO><CÓDIGO ISO><SISTEMA CONO-CORONA>

0888-DBRA-UPT-2022



SUMMARY

The objective of this research project was to apply reverse engineering to the cone-crown system through 3D simulation to obtain its geometry, the generation of the ISO code, and its manufacturing processes. Two cone-crown sets were used: D-MAX 3.0 Diesel 4X2 and Wingle 5 2.2 CD 4X2, with a ratio transmission of 45:11 and 41:10, respectively. The scanning technique to be used was determined, followed by post-processing of the scan that optimizes the quality of the model so that it is suitable for export to CAD software. A reconstruction process was carried out using various techniques. The generated model was validated through a comparison method with the real object. Subsequently, each computerized model was evaluated through a finite element simulation process including three configurations of the inclination angle of the teeth: original, 18°-18°, and 14.5°-14.5°. Where the efforts, deformations, safety factors, and the life cycle of the material under working conditions were analyzed. In addition, the validated models were exported to CAM software to execute roughing, semi-finishing, and finishing machining processes followed by the generation of ISO codes. The results showed that through the photogrammetric scanning process, it was possible to obtain CAD models with an approximation of 95% to the real pieces so that the digital models can be accepted without risking the design of the piece to carry out its analysis through computational simulation. It is concluded through the finite elements that the original configuration of the cone-crown system is the most optimal, indicating that the selected material is adequate to take it to a CAM process. It is recommended to clean the objects to be worked on before carrying out the 3D scan. In addition, the parts to be scanned must have an opaque incidence surface.

Keywords: <REVERSE ENGINEERING> <CROWN-CONE SYSTEM> <FINITE ELEMENTS> <PHOTOGRAMMETRY> <MACHINING>



Lcda. Patricia Pilar Moyota Amaguaya Mgs.

C.C. 060361101-3

INTRODUCCIÓN

El rápido desarrollo de la economía global, tecnología e ingeniería han permitido a la industria automotriz evolucionar rápidamente y ha generado una revolución que ha mejorado la forma de vida de las personas en la última década, constituyendo el uso de distintos vehículos como una actividad de consumo popular (Chamba et al., 2020, p.2), por consiguiente, causando que la industria automotriz constituya un sector importante dentro de la economía ecuatoriana.

En la actualidad, las empresas enfocadas al ensamble de componentes que buscan reproducir piezas para una línea de producción, no poseen la suficiente información de dicha pieza, como son planos, bosquejes o dimensiones. Ante esto, las componentes del vehículo a reproducir son extraídos para la generación de moldes; a estos componentes se los lleva hacia un desarrollo de ingeniería inversa, determinando el proceso de producción y las distintas técnicas que aplicaron para su producción (Caro et al., 2018, p.25). La ingeniería inversa y su estudio enfocado como un método de investigación, ha sido realizado con más frecuencia, convirtiéndose en un proceso de rutina en muchas industrias, pues las innovaciones tecnológicas no son desarrolladas únicamente a partir de nuevas ideas, dado que la mayoría de veces se realiza una investigación basada en un producto ya existente (Acosta y Oviedo, 2016, p.15).

En el Ecuador se han dado ciertos estudios dentro de la ingeniería inversa y su metodología de desarrollo, entre algunos proyectos relevantes se tiene: “Análisis y Aplicación de Ingeniería Inversa en Objetos con Scanners 3d para el Apoyo de conservación del Patrimonio Cultural del Ecuador” (Lisintuña y Molina, 2017, p.19), “Desarrollo de Ingeniería Inversa para la Obtención de Circuitos Electrónicos del Sistema de Inyección del Chevrolet Sail con FADOS9F1” (Azogue, 2018, p.35) y “Desarrollo de Metodologías Enfocadas a Aplicaciones de Ingeniería Inversa para Reproducir Objetos mediante Escaneado 3d, Sistemas CAD/CAM y Prototipado Rápido” (Valverde, 2019, p.26).

Siendo el sector automotriz muy importante en el proceso de transformación productiva del país, las instituciones académicas deben tener la oportunidad de fomentar la creación de nuevas opciones tecnológicas aplicando la ingeniería inversa en la fabricación de piezas sencillas o complejas. Respaldados por el Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida, se establece un desafío alcanzable como es la transformación de la parte productiva, y de esa forma, incentivar nuevas formas de producción, que superen estructura primario-exportadora (Aduanas-Ecuador, 2020, p.34).

PROBLEMA

En la actualidad gran cantidad de procesos industriales tiene como soporte para su mejoramiento y optimización a sistemas de softwares. Sin embargo, existen procesos o actividades de las cuales

no se tiene antecedentes en estos sistemas o su acceso se encuentra restringido. Un caso particular son las configuraciones geométricas del cono y la corona de los vehículos pick up, tratar de obtener estas configuraciones de forma manual se constituye como un gran desafío debido a que se tratan de curvaturas obtenidas con modelos matemáticos presentes en el engranaje. Para poder acceder a este conocimiento surge como medida de solución la ingeniería inversa. Misma que a pesar de sus grandes avances aún enfrenta grandes desafíos que merman su capacidad de solucionar con totalidad las situaciones expuestas. Motivo por el cual, el presente trabajo de titulación busca establecer una metodología que permita obtener las configuraciones apropiadas del cono y corona. Para lograr este objetivo se empleará el teléfono Huawei Y7, cuya cámara permitirá la adquisición de imágenes de los componentes y obtener un modelado computacional, y con el uso de softwares CAD/CAM se generará su código ISO para la manufactura.

Con la finalidad de que la propuesta se constituyó en un aporte para el estado del arte, se analizaran las limitaciones a nivel funcional que presentan las herramientas de ingeniería inversa, razón por la cual se propone realizar una evaluación técnica de las herramientas de ingeniería inversa. Por ende, la alternativa que permita el cumplimiento de este objetivo es el uso máximo de las distintas herramientas de programación y diseño actuales, capaces de generar todos los procesos empleados en la fabricación de un componente, de forma que se reduzcan los distintos costos que pueden encontrarse, como son tiempo y dinero (Molina y Tapuy, 2018, p.30).

JUSTIFICACIÓN

En nuestro país, uno de las zonas de gran importancia para el proceso de cambio de la matriz productiva es el sector automotriz, mismo que debe ser considerado de gran manera como parte de las instituciones académicas para fomentar en sus estudiantes el deseo de crear nuevas tecnologías basadas en el uso de la ingeniería inversa en la manufactura de piezas.

Al analizar más a profundidad este sector, se ha encontrado que el tercer tipo de vehículo más vendido es la pick up, específicamente la D-MAX CRDI STD 3.0 DC 4x2 TM DIESEL, en el lapso 2017-2018 se han vendido 6120 unidades y 1992 unidades para la Wingle 5 2.2 DC 4X2 (Aeade, 2018, p.36). Además, en el año 2019 se ha importado a Ecuador 18837 unidades de ejes con diferencial (Aduanas-Ecuador, 2020, p.34). Sin embargo, cuando ensambladoras nacionales desean producir este tipo de unidades no tienen acceso a la información necesaria para ejecutar el proceso, con lo cual la ingeniería inversa se constituye como una solución muy importante. Por estos motivos, la presente propuesta busca plantear una metodología enfocada en la ingeniería inversa que permita el modelamiento de estos elementos para la manufactura y obtención del código ISO, de esta manera, establecer un punto de partida para distintos estudios que pueden desarrollarse, como son la aplicación de nuevos materiales y tecnologías de fabricación de dichas piezas.

OBJETIVOS

Objetivo General

Aplicar ingeniería inversa al sistema cono-corona mediante simulación 3D para obtener su geometría, la generación del código ISO y sus procesos de manufactura.

Objetivos Específicos

- Obtener la geometría del sistema cono-corona mediante la utilización de la fotogrametría.
- Reconstruir la geometría del sistema cono-corona en un software tipo CAD/CAM.
- Simular las condiciones de trabajo del sistema cono-corona variando los parámetros geométricos más importantes con la finalidad de determinar la configuración que sufre menor concentración de esfuerzos.
- Obtener los códigos G para la fabricación del sistema cono-corona mediante un software CAM/CAE.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Diferencial automotriz

Es un elemento mecánico cuya función es la transmisión del movimiento y torque suministrado por el motor hasta las ruedas, mismas que se encargarán de generar el desplazamiento y la tracción del vehículo. Se caracteriza por permitir la rotación independiente de las ruedas y la estabilidad del automóvil en las curvas, debido a la diferencia de velocidades existentes entre las ruedas interiores y exteriores para poder generar tracción evitando el patinaje de las ruedas. Y también actúa como un mecanismo reductor de velocidad y multiplicador de par.

1.1.1. Partes del diferencial

El mecanismo diferencial se encuentra constituido por las siguientes partes (ver **Figura 1-1**):

- Carcasa: Estructura que aloja y sostiene a todos los componentes del sistema.
- Piñón de ataque: Se encarga de transmitir a la corona el giro que proporciona el eje de salida de la transmisión. También es conocido como cono.
- Corona: Cumple dos funciones principales: recibir el movimiento proporcionado por el piñón de ataque y convertir este movimiento en dirección útil que permite la rotación de las ruedas.
- Caja de satélites: Usualmente son cuatro, transmite el giro recibido por la corona hacia los palieres y planetarios.
- Piñones planetarios: Reciben el movimiento de los satélites.
- Palieres: Son semiejes que se encargan de transmitir el movimiento recibido por los planetarios a las ruedas.

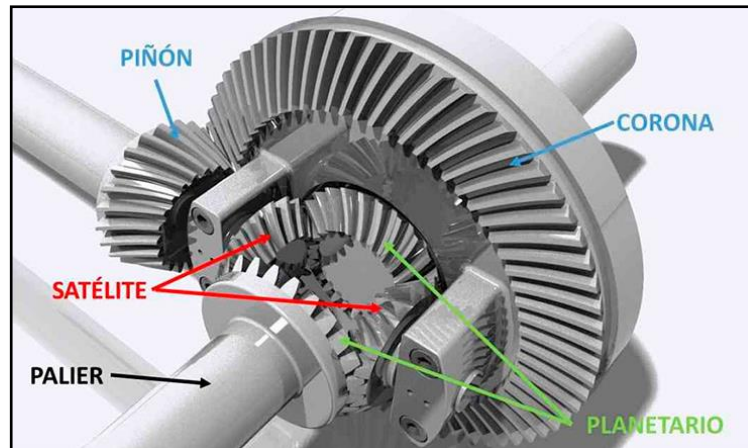


Figura 1-1. Elementos del diferencial

Fuente: (Derco, 2019).

1.1.2. *Funcionamiento del diferencial*

El movimiento generado por la caja de cambios es recibido por el diferencial mediante el piñón de ataque. Este movimiento es de giro longitudinal y a través de la corona es transformado en giro transversal para permitir el desplazamiento de las ruedas, además gracias a la relación existente entre los dientes del cono y la corona se produce una reducción de la velocidad angular y un incremento del par.

Cuando un vehículo se desplaza en línea recta: sus cuatro ruedas poseen la misma velocidad de giro, los satélites se mantienen estáticos sobre su propio eje, giran el mismo sentido y velocidad que la corona. Sin embargo, al instante de curvar las velocidades de estas deben variar para poder generar tracción. Esto se debe a que el recorrido de las ruedas interiores es menor al de las exteriores, la resistencia al giro es mayor en la rueda interior que la exterior y esta no puede moverse a la misma velocidad. Este frenado en la rueda interior afecta también a su planetario y entonces los satélites ruedan sobre él, provocando un incremento en el giro de la rueda exterior y compensando la pérdida de giro por parte de una de las ruedas. De esta forma es como el mecanismo establece un diferencial de velocidades entre ruedas que están montadas en un mismo eje y evita el patinaje al curvar.

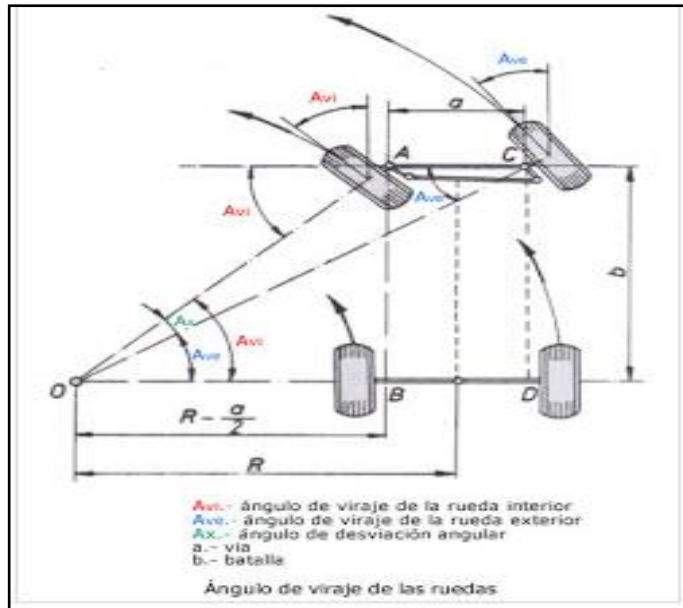


Figura 2-1. Esquema de posición de ruedas en una curva

Fuente: (Espitia, 2017).

El enfoque del presente proyecto es el análisis del cono y la corona, motivo por el cual, es fundamental tener conocimiento de los tipos de engranajes utilizados para generar esta configuración, su geometría, elementos más característicos y procesos de fabricación.

1.1.3. Tipos de Engranajes

1.1.3.1. Engranajes cónicos rectos

Este tipo de engranajes representa la forma más sencilla de engranes con ejes no paralelos, además de ser los más utilizados en la construcción de mecanismos diferenciales. Son análogos a los engranes rectos, en donde la circunferencia primitiva hace referencia a un cilindro, mientras en este caso la circunferencia primitiva hace referencia a un cono primitivo.



Figura 3-1. Engranajes cónicos rectos

Fuente: (DirectIndustry, 2019).

Los engranajes cónicos del tipo recto, producen un nivel aumentado de ruido y vibraciones, por lo que su uso no es muy frecuente dentro de los engranajes cónicos. El contacto generalmente comienza en la parte alta del diente y progresa hacia la parte baja del mismo; por ende, sus dientes son rectos y con cierta conicidad. Se pueden encontrar 2 tipos de geometrías, las cuales dependen de la manufactura empleada, pues pueden fabricarse dientes en los que la profundidad varíe en una forma cónica o que la profundidad del diente no varíe y se mantenga paralela durante toda su longitud (Grande, 2017, p.22).

1.1.3.2. Engranajes cónicos helicoidales

Su diferencia fundamental a los antes mencionados es que tienen una curva oblicua. Esta diferencia permite una mayor transmisión de fuerza y que posean un menor tamaño que otros engranajes cónicos, pues el contacto entre los dientes comienza en un extremo y avanza hacia el otro, lo que permite que varios dientes puedan ir engranando y desengranando de manera simultánea (Grande, 2017, p.23).



Figura 4-1. Engranajes cónicos helicoidales

Fuente: (DirectIndustry, 2019).

1.1.3.3. Engranajes hipoides

Se basan en un conjunto de engranajes cónicos cuyos ejes se no se interseccionan, y los dientes son en forma de espiral de forma que el desplazamiento en los dientes sea el correcto al ser de forma cónica. Este tipo de engranajes se emplean en vehículos con tracción trasera debido a que mejoran la estabilidad de los vehículos. En la Figura 5-1, se observa este tipo de engranaje (Mott, 2018, p.56).

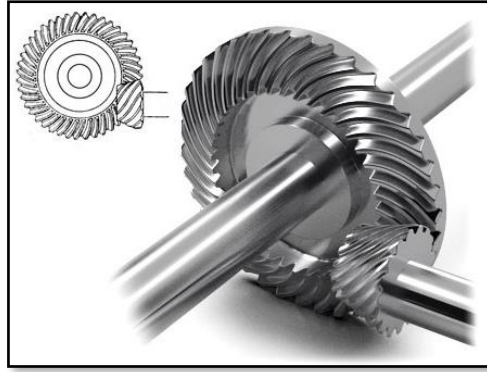


Figura 5-1. Engranajes hipoides

Fuente: (GESTIÓN DE COMPRAS, 2021).

1.1.4. Configuración como primitivo y complementario

Estos dos conos de referencia son aquellos que permiten definir la geometría de los engranajes cónicos. Siendo el cono complementario quien delimita el número de dientes del engranaje y es sobre quien se fijan los diámetros de cabeza y pie correspondientes.

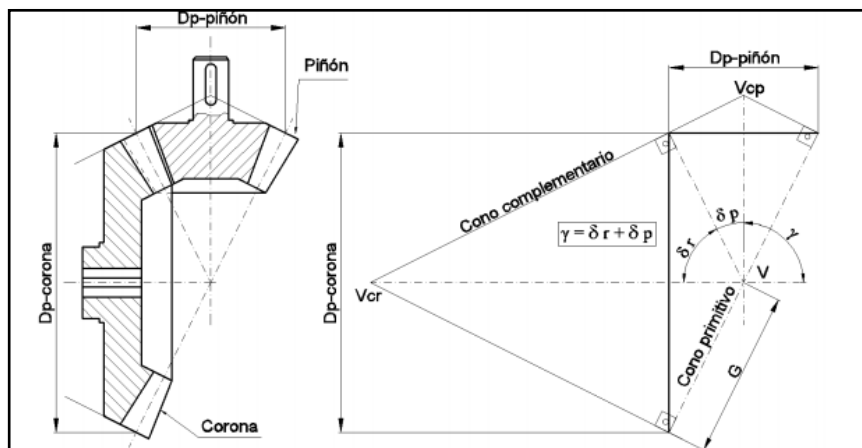


Figura 6-1. Geometría de los engranajes cónicos

Fuente: (García, 2019).

En la siguiente lista se muestran los elementos más característicos de un engranaje cónico:

- Longitud del diente, L
- Altura del diente, h
- Adendum, a
- Dedendum, d
- Generatriz, G
- Ángulo del cono primitivo de la rueda, δ_r
- Ángulo del cono primitivo del piñón, δ_p

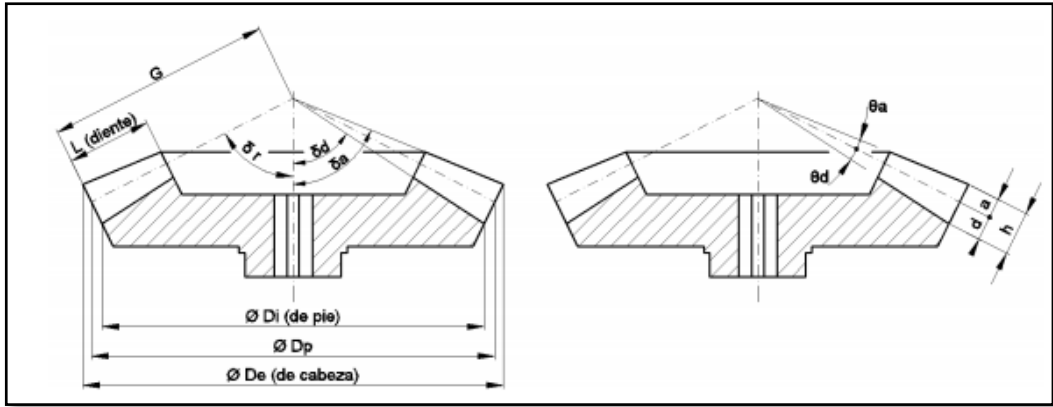


Figura 7-1. Dimensiones principales de los engranajes cónicos

Fuente: (García, 2019).

1.1.5. Métodos de fabricación

Para la fabricación de los engranajes cónicos se requiere de la utilización de equipos específicos. Este tipo de procesos de fabricación se justifican cuando se trata de producción en serie para esta operación ya que es muy costo en casos de fabricación individual o pequeñas escalas. Uno de los procesos más comunes para la generación de este tipo de engranajes es el fresado de los dientes empleando ya sea una fresadora universal o una máquina CNC.

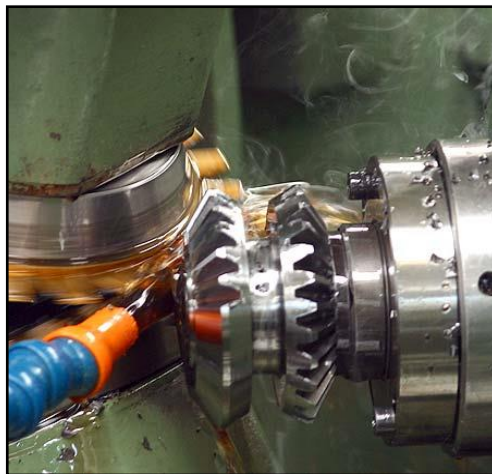


Figura 8-1. Fabricación de engranajes

Fuente: (Curiel, 2017).

Una vez estudiados los conceptos básicos sobre los elementos a analizar se procede a desarrollar el fundamento teórico de las herramientas de ingeniería con las cuales serán analizados estos elementos.

1.2. Ingeniería inversa y desagregación tecnológica

1.2.1. Ingeniería inversa

Considerada como una herramienta contraria a la ingeniería convencional, debido a que el principio en que se basa es realizar una serie de análisis, mediciones y pruebas a un producto terminado para poder determinar su diseño, fabricación, funcionamiento y modo de operación, con lo cual se puede producir una réplica o versión mejorada del mismo.

La ingeniería inversa puede aplicarse en la recreación de partes comerciales con alto valor para un beneficio empresarial, en partes que han sido heredadas sin valor para la restauración histórica. Para esto, se necesita un entendimiento correcto basado en el funcionamiento del componente a realizar y de las habilidades requeridas para replicar sus detalles característicos (Valverde, 2019, pp.4-26).

La incursión y surgimiento de nuevas tecnologías como el Escáner 3D o la microscopía de alta resolución han potenciado a esta herramienta, factor que ha sido determinante para que muchos fabricantes a nivel mundial empleen esta técnica para desarrollar sus productos. El reciente avance tecnológico, ha servido para que el uso de la ingeniería inversa sea común en las industrias, tales como: la industria aeroespacial, automotriz, electrónica de consumo, dispositivos médicos, equipos deportivos, juguetes y joyas. Cabe mencionar que su uso también se ha enfocado en la ciencia forense e investigaciones de accidentes característicos (Valverde, 2019, pp.4-26).

El software computacional es una herramienta fundamental en la evolución de la ingeniería inversa, debido a que permiten representar a través de un modelo computacional un prototipo. El mismo que se procesa, mejora y optimiza con la ayuda de sistemas CAD, para finalmente ser fabricado con un equipo de manufactura asistida por computador CAM. De esto, la principal ventaja que se percibe es la sustitución de piezas o partes únicas rotas y/o desgastadas cuando no se cuenta con planos.

Por ende, grandes empresas están invirtiendo en investigaciones y desarrollo enfocado a la ingeniería inversa, de manera que su competitividad no se vea afectada, y reducir el tiempo empleado en la generación de prototipos para la producción real de un producto. Uno de los parámetros para el empleo de la ingeniería inversa, se basa en el criterio para su elección como un método de creación por la carencia o ausencia de un modelo CAD, por ende, las posibilidades de su aplicación siguen en aumento paralelamente con el desarrollo de hardware y software usados en el diseño de productos, un ejemplo de ello, es la digitalización de productos reales, modelado en CAD para la comparación de productos producidos o la configuración de la máquina mediante sistemas CAM después de la medición digital característicos (Suarez, et al., 2018, p.12).

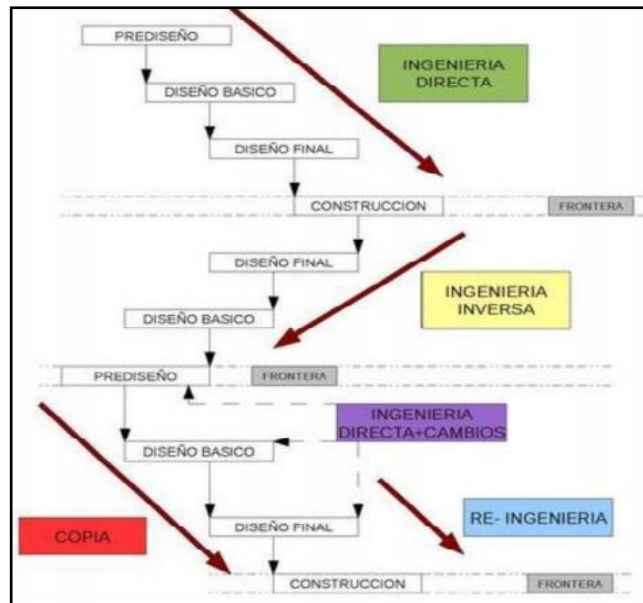


Figura 9-1. Esquemas de comparación del tipo de ingenierías

Fuente: (Valverde, 2019).

Otra aplicación industrial en la que esta herramienta es de mucha ayuda es en la inspección debido a que permite verificar las dimensiones de partes mecánicas sin entrar en contacto.

Las aplicaciones de la ingeniería inversa, en el campo de la medicina, también son conocidas por: la generación de archivos tridimensionales de partes del cuerpo, generación de dispositivos ortopédicos, mejora en la estética física y cirugía plástica, mediciones de partes del cuerpo, así como diagnósticos y seguimientos (Ospina y Ramírez, 2015, p.15).

Finalmente, “La ingeniería inversa no debe ser considerada como una herramienta en apoyo al duplicado, más bien, es un medio para descubrir el porqué de cada detalle de construcción y funcionamiento de un objeto, componente o sistema para aplicarlo en la ciencia” (Lisintuña y Molina, 2017, pp.15-19).

1.2.2. Desagregación tecnológica

Es una técnica o proceso que permite descomponer a un sistema, proyecto o producto en partes. Con la finalidad de conocer la tecnología medular y periférica empleada en la generación de un producto comercializable. Naranjo y Silva (2017, p.54), lo establecen como: Un proceso dirigido a separar proyectos, en diferentes elementos de carácter técnico y económico, con el objetivo de permitir la apertura de varios procesos, que en su ejecución, fomenten la participación de la industria y el trabajo nacional. Constituyéndose de esta forma en un medio que fomenta la participación de la industria y mano de obra nacional, Rivera y Zárate reafirman esta apreciación, mediante el siguiente enunciado:

Es un proceso usado para separar proyectos, de manera que se estudien las características técnicas del proyecto y sus componentes, en relación a la capacidad tecnológica del sistema productivo del país, de forma que se mejore la posición de negociación, aprovechar la oferta nacional y determinar la participación nacional” (Rivera y Zárate, 2015, p.40).

Motivos por los cuales se puede establecer que la desagregación tecnológica se encuentra fuertemente ligada a la transformación tecnológica. Debido a que este proceso permite identificar, categorizar y caracterizar las demandas y necesidades de los productores en determinado sector, y permite la generación de soluciones. Adicionalmente, es un mecanismo que facilita que nuevas tecnologías puedan ser integradas al mercado de productos y servicios de forma rápida (ver Figura 10-1).

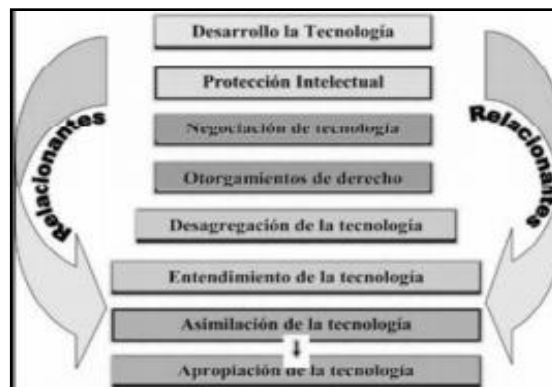


Figura 10-1. Fases de adopción tecnológica

Fuente: (Valverde, 2019, p.26).

1.3. Escáner 3d

Se encuentran conectados a la ingeniería inversa ya que se encargan del análisis de objetos o escenas y la captura de datos de los mismos, a través de la generación de una nube de puntos geométricos en las superficies expuestas. Entre los datos recopilados se encuentran parámetros como: formas, apariencia y dependencia del escáner el color.

Una vez recogidos estos datos, se los emplea para la construcción o reconstrucción digital tridimensional de gran utilidad en diversos campos como ingeniería, medicina, arquitectura y entretenimiento. El tipo de escáner a emplear y la tecnología 3d son dependientes del proyecto a realizar.



Figura 11-1. Esquema de escaneado 3D

Fuente: (DirectIndustry, 2019).

1.3.1. Tipos de escáner 3d

Se los puede dividir en tres grupos fundamentales: de contacto y de no contacto.

1.3.1.1. Escáner 3d de contacto

En este tipo de escáner el dispositivo se caracteriza por tener un palpador o sonda que de forma computarizada o análoga entra en contacto con el objeto y almacena la nube de puntos generados. Para generar esta nube de puntos del objeto, el palpador debe posicionarlos en un espacio tridimensional teniendo como referencia el punto origen dado por el escáner.

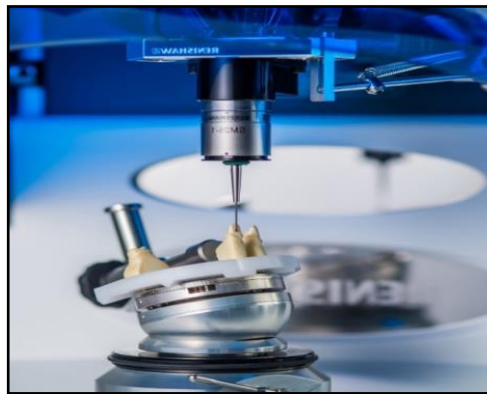


Figura 12-1. Escáner 3D por contacto

Fuente: (Renishaw, 2020).

1.3.1.2. Escáner 3d de no contacto

Realiza la captura de los puntos a través del uso de diversas fuentes como pueden ser: luz, sonidos o campos magnéticos. Suelen ser de rápida digitalización e identificación de colores, sin embargo, ante cuerpos traslúcidos, transparentes o reflexivos no suelen ser una buena alternativa. Se dividen en dos subgrupos:

- **Activos**

Se caracterizan por la emisión de una onda determinada, la cual se enfoca en el objeto y se recibe mediante un sensor. Entre los ejemplos más conocidos se encuentran: el escáner de triangulación, de tiempo de vuelo, de luz estructurada (ver Figura 13-1), luz modulada y de triangulación.

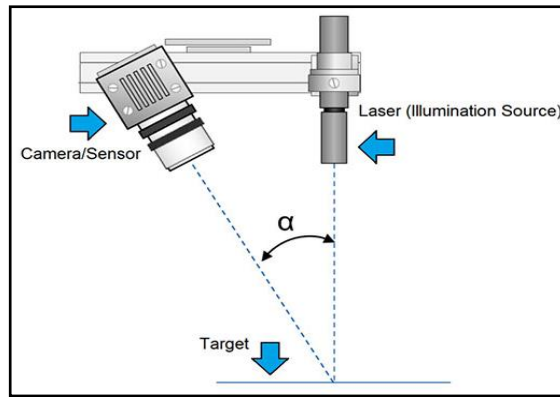


Figura 13-1. Escáner 3D por luz estructurada

Fuente: (Reyes y Cifuentes, 2018).

- **Pasivos**

Este tipo de escáner emplea la radiación o impulsos presenten en el ambiente. Es el método más económico para realizar este tipo de procedimientos. Entre los ejemplos más comunes se tiene: escáner de fotogrametría, de silueta, estereoscopio, etc.

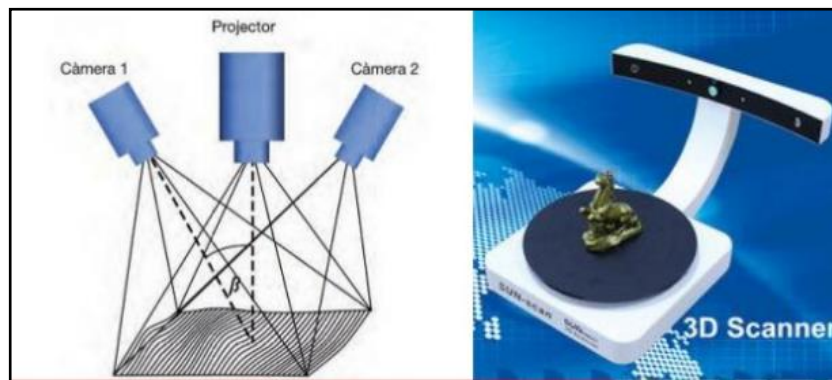


Figura 14-1. Escáner 3d estereoscopio

Fuente: (Reyes y Cifuentes, 2018).

1.4. Fotogrametría

Esta técnica es basada en un escáner 3D cuyo principal elemento, como su nombre lo indica, son cámaras que capturan distintas fotografías alrededor de un componente. Las mismas son importadas hacia un software que procesa las imágenes, y mediante una nube de puntos, genera un componente 3D.

Las aplicaciones de esta técnica van desde la conservación de arquitectura histórica hasta la impresión de objetos ya no disponibles en el mercado debido a su antigüedad como son las autopartes.

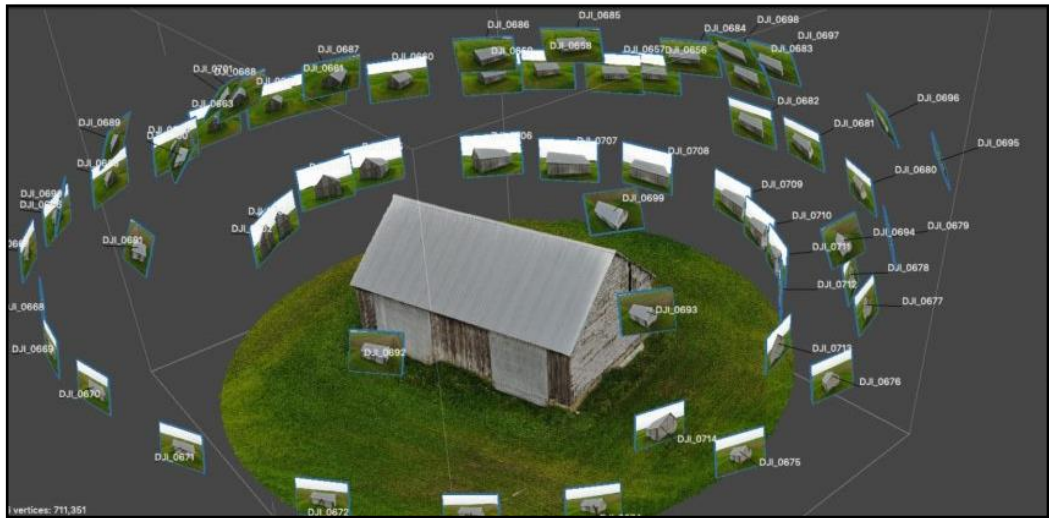


Figura 15-1. Aplicación de fotogrametría

Fuente: (BITFAB, 2021).

1.5. Nuevas tecnologías de manufactura

Así como la ingeniería inversa se ve favorecida por el avance tecnológico para su aplicación con el surgimiento de los escáneres 3d, también ayuda a impulsar nuevas tecnologías de manufactura como es el caso del mecanizado CNC y los sistemas CAD/CAM.

1.5.1. *Mecanizado CNC*

Este es un procedimiento que parte de un bloque de material en bruto y con una serie de operaciones se sustrae material para crear la pieza deseada. Dentro de este proceso se emplean distintas herramientas giratorias de corte y estos equipos pueden realizar operaciones de fresado, rectificado y torneado, teniendo la ventaja de poder emplear una mayor variedad de materiales como son madera, metales y plásticos con una gran precisión dimensional.

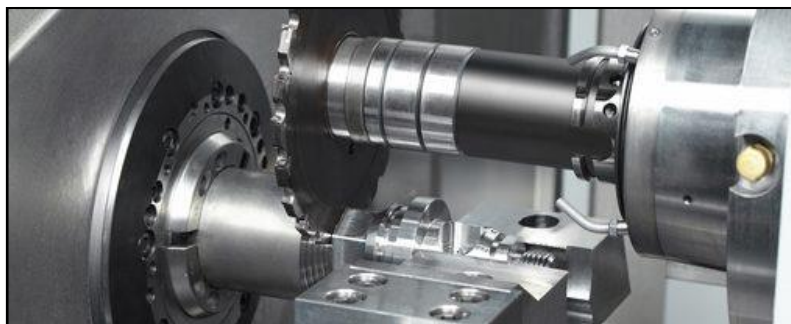


Figura 16-1. Torneado CNC

Fuente: (Curiel, 2017).

La gran diferencia de este tipo de equipos con los convencionales radica en el control de las revoluciones y la posición, pues son realizados por una computadora, lo que explica la precisión dimensional y complejidad geométrica con la que pueden trabajar.

Actualmente, las maquinas modernas cuentan una interfaz amigable con el usuario, de forma que se observe el tipo de proceso a realizar y el procedimiento para realizarlo. Un ejemplo es el maquinado de una cavidad o agujero, pues el mismo puede realizarse con un solo comando donde se especifique la profundidad y la posición. Todo esto hace la programación mucho más rápida y sencilla (Valverde, 2019, p.26).

1.5.2. Sistemas CAD/CAM

Son sistemas que permiten generar, realizar diseños, modelados y manufactura asistida de prototipos en computadora. Se lo considera un sistema de asistencia completa debido a que puede ser empleado desde la fase de diseño hasta la manufactura del producto. Su principal aporte es la programación de procesos de manufactura para el mecanizado CNC.

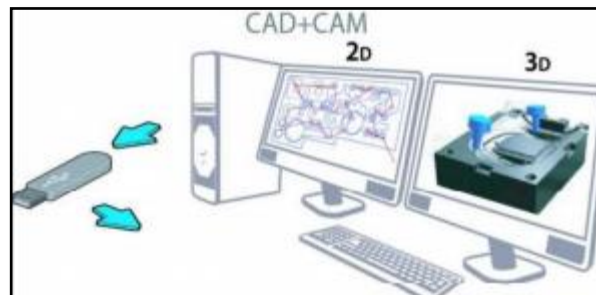


Figura 17-1. Sistemas CAD/CAM

Fuente: (Valverde, 2019).

El software CAM emplea los modelos y ensambles que han sido creados en software CAD, a partir de los cuales crea las diversas trayectorias que deben seguir las herramientas y que serán dirigidos por las máquinas responsables de traer al mundo físico los diseños.

1.5.2.1. Metodología para la producción a través de CAD/CAM

- A) Diseñar la pieza en 3D en un software CAD.
- B) Procesar la forma y geometría de la pieza a mecanizar en el software CAM.
- C) Establecer las diferentes operaciones que formaran parte del mecanizado.

- D) Seleccionar las herramientas requeridas, profundidad, avance y velocidad de giro requeridos en el mecanizado.
- E) Definir las estrategias de mecanizado a seguir.
- F) Efectuar la simulación de las trayectorias que seguirán las diferentes herramientas requeridas.
- G) Realizar el post procesamiento del programa para transformar en un lenguaje adecuado para que la máquina lo pueda comprender.
- H) Transferir el programa a la máquina mediante una red interna o un dispositivo USB.
- I) Posicionar y fijar la pieza en bruto y establecer puntos de referencia.
- J) Ejecutar las acciones de mecanizado a realizar en la pieza.
- K) Realizar una comprobación de las dimensiones y el acabado superficial para determinar si la pieza cumple con lo establecido.

1.6. Software empleados para la obtención del modelo 3D

1.6.1. Agisoft MetaShape

Es un software que realiza el procesamiento fotográfico, generando un modelo 3D y su interfaz es muy amigable, de forma que pueda ser empleada por inexpertos en el uso del mismo. Su diseño está basado para aquellas personas que valoran el tiempo, la eficiencia técnica y las nuevas tecnologías digitales en evolución (Agisoft, 2021), el cual realiza el siguiente procedimiento:

- Exporta las fotografías al programa.
- Aliena las fotografías.
- Procesa la nube de puntos.
- Genera el mallado.
- Construye la textura.
- Exporta el resultado según el formato deseado.



Figura 18-1. Nube de puntos en Agisoft
Fuente: (BITFAB, 2021).

1.6.2. Geomagic

Es una herramienta muy útil en la aplicación de ingeniería inversa para la reconstrucción del modelado CAD a través del escaneo 3D. Posee diversas funciones, las cuales fueron utilizadas para algunos parámetros en la reconstrucción del cono y corona de ambos vehículos pick up. Para realizar la reconstrucción de la geometría del cono y corona de los vehículos pick up se importa el objeto escaneado en formato STL, luego se genera los planos a conveniencia para realizar las operaciones de reconocimiento de la superficie.

1.7. Análisis de Estudios Previos

En esta sección se hará referencia a los trabajos relacionados con la temática y problemática expuesta en el presente proyecto. Mismos que poseen condiciones y aspectos resaltantes que sirven de apoyo a la actual investigación, entre los que se encuentran:

Reyes y Cifuentes (2018, pp.1-3), se fundamentaron en la necesidad de generar un método de implementación del escaneo óptico 3D como sistema de verificación geométrica en engranajes, debido a que los métodos convencionales aplicados después del proceso de fabricación son escasos para comprobar la calidad del componente. Motivo por el cual, establecieron una metodología que permite comparar el producto mecanizado con la geometría del modelado en CAD, basándose en un enfoque de carácter descriptivo y analítico, cuyo desarrollo se enfoca en 4 etapas, como son: análisis, diseño, ejecución y evaluación. El escaneo partió con el recubrimiento del objeto con una capa de talco, para garantizar un recubrimiento homogéneo en la superficie. El movimiento o velocidad de escaneo realizado fue del tipo lento y controlado, conservando una distancia de 150 mm entre el componente y la herramienta. Asimismo, la persona encargada del escáner giró junto al objeto, de forma que la textura a obtener fuese suave, y contenga todos los detalles de la misma. El autor sugiere que el componente a ser escaneado, puede optar por cualquier posición, pero en cada una de las posiciones debe ser posible un efecto de barrido con el escáner. La nube de puntos y su posición, ya sea en vertical u horizontal, no influye en los análisis posteriores.

Como resultado se obtuvo una metodología cuya contribución es la implantación del escáner de tipo óptico tridimensional, cuyo uso se enfoca en engranajes cónicos con dientes rectos. El desarrollo de esta línea base, permite el cálculo de desviaciones generadas por la geometría de los componentes, y su impacto en el empleo de estos en otras actividades; dichas desviaciones pueden generar desgaste, vibración, ruido, exceso de calor, etc. Las conclusiones más resaltantes fueron que el escaneo no es una herramienta exclusiva de la ingeniería inversa, pues también funciona

como una herramienta de comprobación dimensional y geométrica, de forma que también puede ser una alternativa viable. En lo referente a conclusiones experimentales el peso del escáner de mano es incómodo en un largo tiempo de operación, afectando a la nube de puntos generados. En este aspecto, la investigación mencionada tiene una relación directa con la actual, debido a que establece una metodología de escaneado 3D para engranajes y la generación de su modelo CAD. De esta investigación se puede extraer como aporte para el desarrollo del marco metodológico las consideraciones realizadas durante el proceso de escaneado de engranajes.

Valverde (2019, pp.26-35), fundamentó su investigación por medio del desarrollo de métodos cuyo enfoque esté relacionado hacia aplicaciones de ingeniería inversa, a fin de reproducir los objetos mediante escaneado 3D, sistemas CAD/CAM y prototipado rápido. Para el desarrollo de esta investigación los autores partieron de la investigación de las aplicaciones principales que existen en este campo y la elección de los objetos a analizar. Para el escaneo fue realizado un proceso de selección del escáner tomando como criterios: tamaño del objeto, formas geométricas y nivel de detalle, la precisión y resolución deseada. Los datos obtenidos fueron post-tratados con el software XV Elements con el fin de optimizar la nube de puntos, para reconstruir el modelo fueron usados diferentes métodos (superficies automáticas, modelado sólido, detección de superficies y ayuda de instrumentos de medición dimensionales), dependiendo del objeto, con los que se pudo generar el modelo CAD.

Una vez se tiene transferida la información a un software CAD, se puede dar la utilidad que se necesite como por ejemplo la realización de: ensambles, planos, simulaciones mediante elementos finitos, simulaciones de funcionamiento, presentaciones, fabricación de matrices de ese objeto, rediseños, manufactura aditiva, fabricación de prototipos, réplicas, desarrollo de CAM's y fabricación CNC, etc. (Valverde, 2019, pp.26-96)

Posterior a la transferencia de datos, se procedió a la etapa de materialización de aplicaciones donde fue empleada la programación CAD para la generación del código G y poder maquinar la pieza. Para finalmente, validar mediante la comparación de la malla escaneada con el objeto físico. Entre las conclusiones citadas por el autor la más importante hace referencia que para escanear un objeto se deben tomar en consideración las metodologías de reconstrucción que mejor se adapten al caso, con el objetivo de obtener mejores resultados del objeto escaneado, el post procesamiento y la reconstrucción de dicho objeto. En este caso, la investigación mencionada guarda relación con la actual debido a que aborda temas como son metodología para el escaneado 3D, así como también, generación del código G a partir del modelo CAD. Teniendo como principal aporte de esta investigación las diferentes técnicas de reconstrucción que se puede emplear y el proceso de obtención del código G, criterios que serán considerados durante el desarrollo del marco metodológico de la presente investigación.

Parras (2016, p.867), se planteó como objetivo general obtener una réplica de una serie de piezas aplicando la ingeniería inversa apoyado en la digitalización mediante el escaneo 3D, para

finalmente, comparar los modelos creados con el objeto original. El autor afirma “el objetivo final en el uso del escáner es la obtención de una nube de puntos lo suficientemente completa como para que el objeto en cuestión quede correctamente definido” (Parras, et al., 2016, p.878).

La investigación se basó en realizar un escaneo a una rueda dentada usando la tecnología de triangulación por láser, que generó una nube de puntos, para un posterior procesamiento en el software Geomagic Desing Direct que permitió la generación del modelo CAD. A partir del cual se generó un prototipo en impresión 3D que fue comparado con la pieza original y el modelo CAD generado. Los resultados obtenidos en esta comparación según el criterio del autor fueron muy satisfactorios debido a que se denotan alteraciones muy pequeñas en la geometría en las zonas de difícil acceso para el escáner. Entre las conclusiones más destacadas del proyecto se tiene que para solventar la dificultad al digitalizar zonas ocultas se puede realizar cortes o secciones en las piezas escaneadas tal como fue realizado en este estudio, así como también, la importancia del post tratamiento de la nube de puntos para eliminar los errores de escaneado y el ruido existente. El aporte que se obtiene de esta investigación es complementario a Reyes y Cifuentes (2018, pp.1-5), debido a que permite extrapolar mayores criterios a considerar durante el escaneo de engranajes. Factor de mucha importancia y de soporte para el desarrollo del marco metodológico investigación previamente mencionada.

Zhan, Fard y Jazar (2017, p.1), plantearon un análisis de la variación de la rigidez del mallado de un par de engranajes usando una técnica de integración CAD-FEM-QSA y compararla con el modelo analítico CAI+ISO. Para el desarrollo de la investigación fue establecida la siguiente metodología, misma que parte de la construcción del modelado en CAD de los engranajes a analizar y su ensamble. Los cuales fueron exportados a un software de elementos finitos (ANSYS Workbench) donde se realizaron técnicas de descomposición geométrica, definición de material, definición de la malla y condiciones de simulación. Para una posterior simulación cuyos resultados fueron comparados con el modelo analítico y se analizan las variaciones de forma encontrados para diferentes ángulos de contacto empleando métodos gráficos. Los resultados obtenidos arrojaron un rango de diferencia entre los métodos de 1.5% a 4.4% por lo cual se podrían considerar como despreciables, debido al bajo valor que presentan. Entre las conclusiones presentadas la de mayor importancia es el método propuesto presenta una gran efectividad al analizar engranajes rectos lo que plantea las limitaciones del mismo frente al método analítico. El aporte que se tomará en consideración por parte de esta investigación es la estructura metodológica planteada para las fases de modelado de los engranajes y los métodos gráficos empleados para su posterior comparativa de los resultados obtenidos mediante el método analítico.

Cusco (2018, p.15), previo a analizar este proyecto se debe aclarar que únicamente se hará referencia metodología empleada para escaneo 3D empleando un Kinect de Xbox 360 y aplicarla hacia el proceso de fotogrametría. El enfoque en que se centró el autor fue el desarrollo de un sistema de

tipo electrónico, a fin de controlar la trayectoria durante el proceso de escaneo 3D en extremidades propias del cuerpo humano mediante el uso de una cámara Kinect. El proceso de escaneo se basó en un análisis de la captura de las imágenes para determinar el rango de escaneo óptimo que posee el Kinect, las configuraciones del escaner son dependientes del volumen que se desea escanear. La estimación del mismo se la realizó considerando un volumen cilíndrico cuya altura es la medida existente entre el inicio y el fin del brazo de una persona promedio y el radio la longitud necesaria para medir el ancho del mismo. El escaneo se realizó siguiendo cuatro trayectorias distintas: la primera un barrido de 360° con un barrido lineal de 5 ciclos por vuelta, la segunda un barrido de 360° con un barrido lineal de 3 ciclos por vuelta, la tercera dos barridos de 360° (uno en la base del volumen de escaneo y otro en el fondo del volumen de escaneo) sin barrido lineal y el cuatro un barrido 360° sin barrido lineal en el medio del volumen. Posterior la nube de puntos recogidos se procesa en un software CAD.

Finalmente, se ha considerado a Martínez (2016, p.12), cuya investigación se centra en determinar el proceso de manufactura CNC de engranajes rectos y helicoidales, empleando códigos G a través de una programación con macros. Para lo cual, el autor comenzó investigando las características geométricas que componen a los engranajes rectos y helicoidales, seguidos de esto, realizó un análisis cinemático estableciendo a los reductores de velocidad como la aplicación más común. Una vez establecidos los parámetros geométricos y condiciones de trabajo fueron seleccionados los materiales más comunes en el tallado de engranajes. A continuación, tuvo lugar un análisis cinemático de corte, y se determinaron las velocidades de giro del eje y de corte de la herramienta. Para con estos datos efectuar una simulación del proceso de manufactura por medio de códigos G, obteniendo como resultado el código general que permite fabricar los engranajes. De forma adicional, también fueron determinados el material, fabricación de la herramienta de corte, y se realizó una verificación de la simulación. Entre los resultados principales de la investigación se tiene que los factores geométricos principales del proceso de fabricación de engranajes el número de dientes, espesor y ángulos de hélice. Como conclusión principal, se tiene que la programación con macros permite generar códigos G paramétricos que se ajustan a diversos requerimientos cuya ventaja es evitar la estructuración de varios programas. Este estudio previo presenta muchas similitudes con el presente proyecto, motivo por el cual, se lo tomará como una base de referencia para establecer la metodología de fabricación y generación de códigos G para el sistema cono y corona.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se detalla el proceso para el escaneo 3D, la obtención del modelo en el software CAD y generación del código G en un software CAM, utilizados para determinar el proceso de manufactura del Sistema Cono y Corona de dos conjuntos de vehículos Pick up.

2.1. Metodología implementar

En el desarrollo de la investigación se ha empleado la Metodología Inductiva, debido que se enfoca en el análisis del sistema cono-corona de dos vehículos pick up, de manera que se determinen los parámetros de mayor importancia en los procesos de fabricación, como son: parámetros geométricos principales, materiales adecuados y las operaciones de mecanizado, con la finalidad de poder replicar estos sistemas a nivel industrial. Para lo cual se emplean métodos empíricos de experimentación, observación y medición, mediante el uso de equipos de escaneo, metrología y softwares computacionales. En términos generales el desarrollo metodológico está establecido de la siguiente manera.

En primer lugar, se realiza la adquisición de datos por medio del escaneo 3D para lo cual es necesario determinar el tipo de escáner a emplear, seguido de una preparación del objeto, la selección de la técnica a emplear y la definición de los parámetros a considerar.

Una vez determinado estas especificaciones, el siguiente paso es el escaneo del objeto 3d para la obtención de los puntos de la nube de datos y la exportación de estos al programa CAD en el que se realizará el procesamiento.

Después de haber escaneado el objeto, se procede a la generación de modelo CAD para lo cual será necesario someter a la nube de puntos obtenidos a etapas de limpieza, alineación, mallado y reconstrucción.

El modelo CAD generado debe ser sometido a un proceso de validación mediante una comparación entre las dimensiones del objeto real y el computarizado. Para posteriormente ser sometido a una simulación de elementos finitos que permita validar los materiales empleados en la fabricación.

Y finalmente, el procesamiento en software de tipo CAM, cuyo uso se enfoca en la elaboración del código G y la identificación de actividades de manufactura necesarias para la fabricación.

El diagrama de flujo de la metodología propuesta se lo observa en la Figura 1-2.



Figura 1-2. Metodología de la propuesta

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

2.2. Desarrollo de la metodología

2.2.1. Adquisición de Datos 3D

2.2.1.1. Selección del tipo de escáner

Para este apartado se detalla la herramienta o cámara a emplear, con la finalidad de obtener la geometría del cono y corona; la misma es un celular cuyo modelo es Huawei Y7, esto debido a que se trata de un dispositivo de gran disponibilidad en el mercado, que gracias a su característica de reconocimiento de gestos y movimientos puede ser empleado en la toma de fotografías desde distinto ángulos (ver Figura 2-2).



Figura 2-2. Huawei Y7

Fuente: (HUAWEI, 2021).

2.2.1.2. Especificaciones técnicas

En la Tabla 1-2, se muestran las especificaciones técnicas que posee el dispositivo Huawei Y7.

Tabla 1-2: Especificaciones técnicas Huawei Y7

Características
<ul style="list-style-type: none">• Pantalla: 6.26" (720x1520 pixels)• Procesador: Snapdragon 450 1.8 GHz• RAM: 3 GB• Almacenamiento: 32 GB• Expansión: microSD• Cámara: Dual, 13 MP+2 MP• Batería: 4000 mAh• OS: Android 8.1

Fuente: (HUAWEI, 2021).

2.2.1.3. *Análisis y selección de la técnica de fotogrametría a emplear*

La técnica de fotogrametría a implementar es un factor determinante en la calidad y cantidad de fotos a obtener para generar el modelo 3D. Durante el proceso de generación de la nube de puntos siempre se debe exponer a la superficie del objeto a diferentes perspectivas y así obtener un grupo de datos que representen a todo el conjunto. Bajo esta consideración, las imágenes a obtener serán realizadas de acuerdo a la mejor alternativa.

- **Alternativa 1: Rotación del objeto**

Este tipo de técnica es ideal para emplear en condiciones de iluminación adversas, ya que permite a la cámara una recolección de datos regular gracias a que se mantiene la luz en un nivel o cantidad adecuados, de forma que incide sobre el objeto y a través de la rotación del mismo se expone a toda la superficie a condiciones similares. Se requieren de una base con rotación sobre la cual será colocado el objeto.

- **Alternativa 2: Desplazamiento de la cámara alrededor del objeto**

En esta técnica la cámara se desplaza alrededor del objeto en una trayectoria predefinida, provee una vista de 360° del objeto más completa que en la técnica previa. Requiere un mecanismo de soporte y desplazamiento, también dispositivos que permitan iluminar al cuerpo de forma simétrica en todos los puntos.

- **Alternativa 3: Movimiento combinado**

La mayor ventaja que ofrece esta técnica es permitir que el proceso de fotogrametría abarque una superficie de análisis mayor que las técnicas previas. Por lo general, consiste en realizar una rotación del objeto sobre una base y un movimiento de desplazamiento lineal por parte de la cámara. Se requiere un mecanismo de soporte de mayor complejidad.

- **Factores de influencia**

En este apartado se definen aquellos factores de mayor influencia en el proceso de fotogrametría, y su grado de ponderación.

- **Iluminación:** Este criterio analizará el nivel de complejidad que presente el sistema de iluminación requerido por cada alternativa.
- **Sincronización:** En este criterio se analizará la calidad y cantidad de puntos recogidos con cada uno de los diferentes desplazamientos y rotaciones empleados en cada una de las alternativas.

- Disponibilidad: En este criterio se analizará el acceso que se tenga a las diferentes estructuras de soporte y movimiento requerido por cada alternativa.
- Rango de visión: Se tomará en cuenta el rango de ángulo de visión del objeto que poseerá la cámara en cada una de las alternativas.

Para definir el peso porcentual de los criterios de análisis se ha tomado como referencia lo establecido por Casignia y Perugachi (2017, p.25), cuyas consideraciones se muestran en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2: Criterios y ponderaciones

Criterios	Ponderación				
	1	2	3	4	5
Iluminación (25%)	Muy complejo	Complejo	Media	Simple	Muy simple
Sincronización (20%)	Muy complejo	Complejo	Media	Simple	Muy simple
Disponibilidad (30%)	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Rango de visión (25%)	Muy baja	Baja	Media	Buena	Muy buena

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

2.2.1.4. Selección de la mejor alternativa

Para determinar la mejor alternativa ha sido empleada la técnica de criterios ponderados. La **Tabla 3-2** muestra los resultados de la evaluación total para las alternativas.

Tabla 3-2: Evaluación y selección de alternativas

Criterios	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
Iluminación (25%)	Media	3	Simple	4	Compleja	2
Sincronización (20%)	Media	3	Simple	4	Compleja	2
Disponibilidad (30%)	Baja	2	Alta	4	Muy baja	1
Rango de visión (25%)	Buena	4	Media	3	Muy buena	5
Total	2,95		3,75		2,45	

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

El resultado de este análisis ha determinado que la alternativa 2: Desplazamiento de la cámara alrededor del objeto, es la que más se ajusta a las condiciones del proyecto debido a que requiere un sistema de iluminación, soporte y movimiento de poca complejidad y de fácil acceso. Además de ello, esta alternativa es compatible con el software a emplear.

2.2.1.5. Preparación del objeto

El objeto a escanear seleccionado debe cumplir con los siguientes criterios: ser opaco o no presentar brillo, no ser de color negro o transparente, no debe ser refractivo, debe estar limpio. En caso de existir materiales brillantes es recomendable pintarlos, de preferencia color blanco mate. También se puede recubrir al objeto con una capa de talco distribuida de forma uniforme sobre la superficie como lo sugiere Reyes y Cifuentes (2018, p.8), con el objetivo de que todas las zonas de los dientes de los engranajes se conviertan en superficies de incidencia opaca.



Figura 3-2. Piñón con talco siendo escaneado

Fuente: (Reyes y Cifuentes, 2018).

Para el presente proyecto se ha realizado una limpieza superficial previa de los dos objetos con la finalidad de eliminar residuos de grasa existente y así reducir las zonas donde la luz se pueda reflejar en exceso, esto se lo realiza para los dos conjuntos.



Figura 4-2. Conjuntos D-MAX y Wingle

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

2.2.1.6. Acceso al software Agisoft

La fotogrametría facilita obtener modelos en 3d con el software Agisoft MetaShape, el cual procesa las imágenes obtenidas mediante la cámara del Smartphone Huawei Y7.

Las capturas por la cámara se las realizan rodeando la pieza desde los 360 grados con una distancia muy corta, debido que las piezas a escanear son muy pequeñas lo cual requiere un mayor enfoque. Se obtiene un aproximado de 55 fotos mostrado en los anexos I, J, K y L para exportar al software Agisoft MetaShape. El empleo de este software se lo hace mediante una versión de prueba de 30 días y su procedimiento se lo observa en las figuras a continuación.

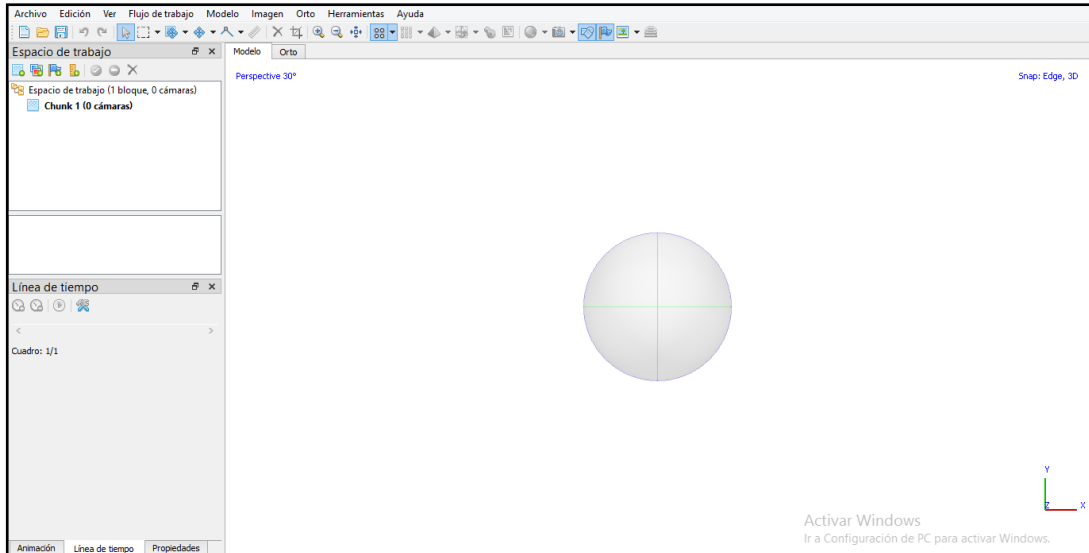


Figura 5-2. Interfaz del Software Agisoft

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Una vez ha sido definido el software a emplear, se debe acceder al mismo y configurar los parámetros del escaneo. Al hacer referencia a configurar el escáner sugiere: “La configuración del escáner es un reconocimiento del objeto que se va a escanear considerando las condiciones de iluminación del entorno” (Valverde, 2019, p.25).

Para iniciar el proceso se deben cargar las fotos tomadas y realizar el reconocimiento de las mismas como se muestra en la Figura 6-2.

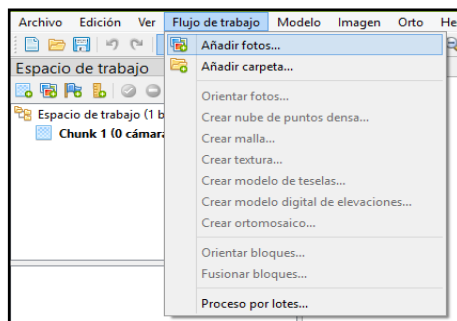


Figura 6-2. Carga de fotos adquiridas

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Realizado el proceso de carga de las fotos tomadas con el celular, se procede a la orientación de las mismas, esto para generar el modelo en cuestión. Se escoge la precisión Pre-selección genérica Media como se observa en la Figura 7-2.

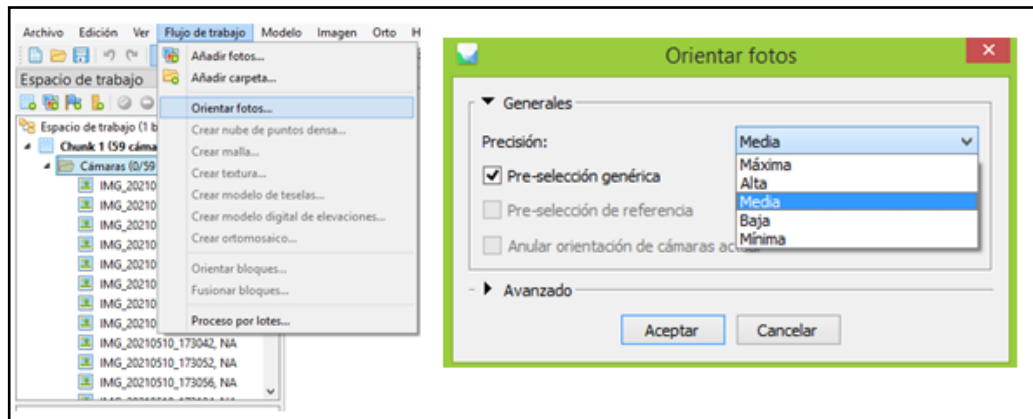


Figura 7-2. Orientación de fotos adquiridas
Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

De esto se genera una dispersión de puntos, de la cual deben eliminarse todos los sobrantes o innecesarios, realizando una limpieza y conservando el componente. El resultado final de esto se observa en la Figura 8-2.

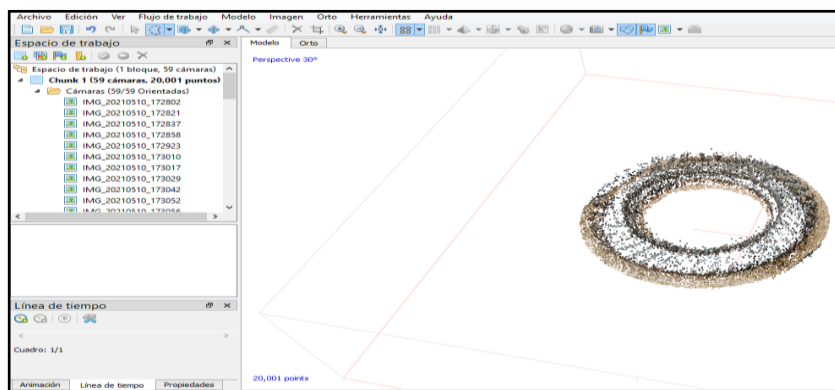


Figura 8-2. Componente libre de puntos innecesarios
Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Concluida la limpieza, se realiza la nube de puntos cuya calidad y densidad dependerá de la capacidad computacional de la máquina. De esto, se decide emplear la calidad media, como se observa en la Figura 9-2.

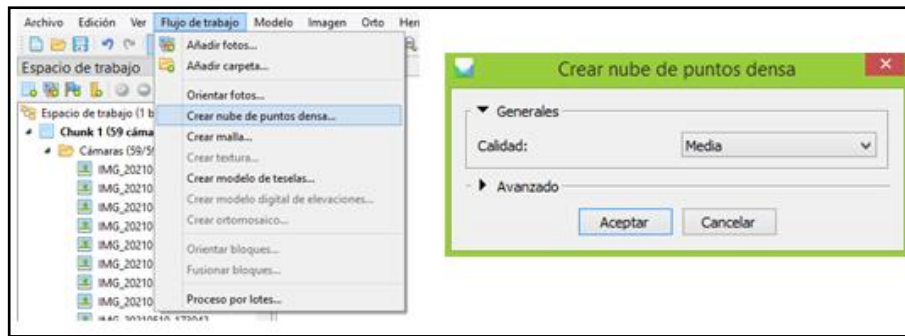


Figura 9-2. Creación de nube de puntos

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

El resultado del paso antes mencionado se observa en la Figura 10-2. Nótese que la nube de puntos refleja un modelo muy parecido al físico a evaluar.

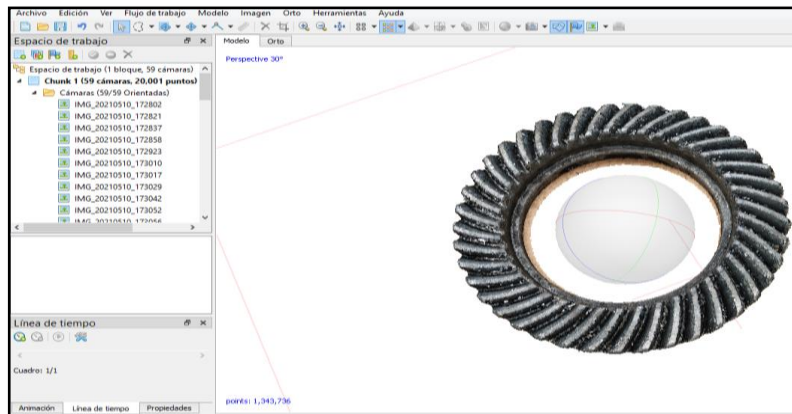


Figura 10-2. Nube de puntos de calidad media

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

De esto, se procede a realizar la malla, cuyos valores entran por defecto, como se observa en la Figura 11-2.

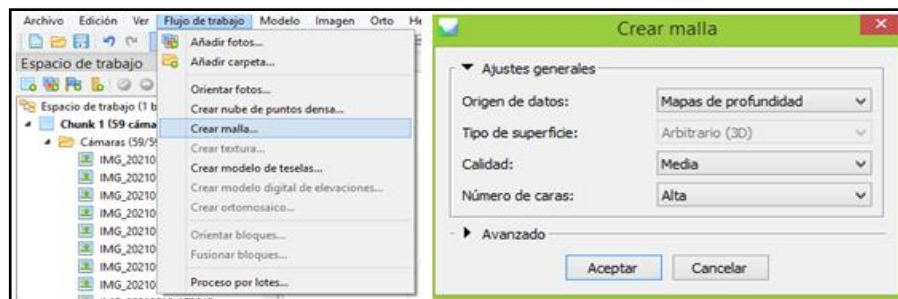


Figura 11-2. Mallado de nube de puntos

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

El resultado final se observa en la Figura 12-2. Nótese que las semejanzas del modelo 3D con el producto físico en cuestión son notorias.

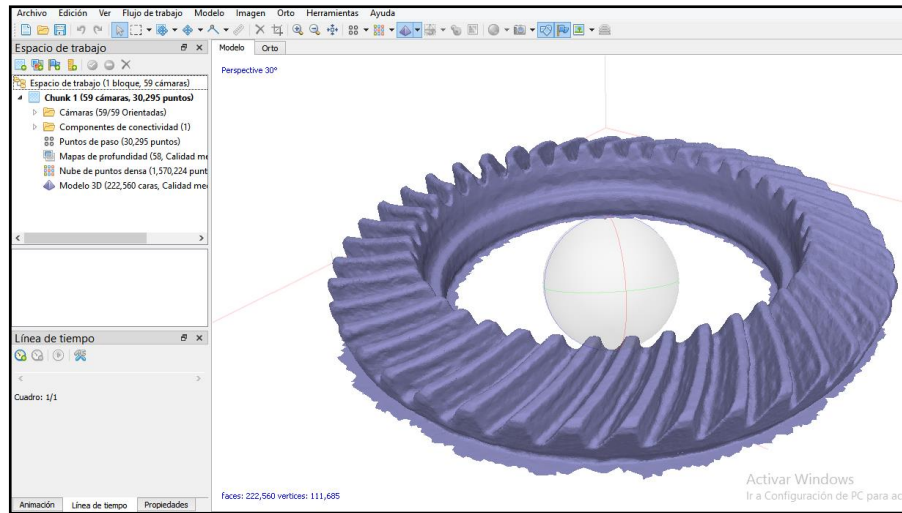


Figura 12-2. Resultado del mallado de la nube de puntos.

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

El resultado obtenido se debe exportar al software Geomagic, de manera que debe ser guardado con el formato .stl, como se observa en la Figura 13-2.

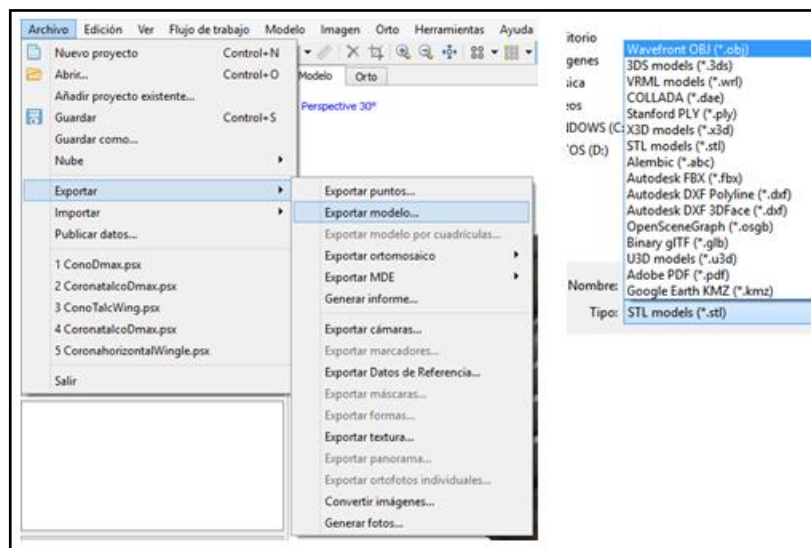


Figura 13-2. Formato a guardar del modelo obtenido

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Hecho esto, se debe proceder con el software Geomagic y su obtención del modelo 3D. Nótese que estos pasos deben seguirse para los componentes restantes.

2.2.2. Post procesamiento del escaneo

2.2.2.1. Edición del archivo en el software Geomagic

Una vez finalizado el proceso de escaneo, se realiza la edición del mismo con el objetivo de modificar ciertos parámetros, como son: relleno de agujeros, optimización y reducción de la malla de digitalización, y optimización de fronteras. Para lo cual se empleó el modelo exportado en formato .stl.

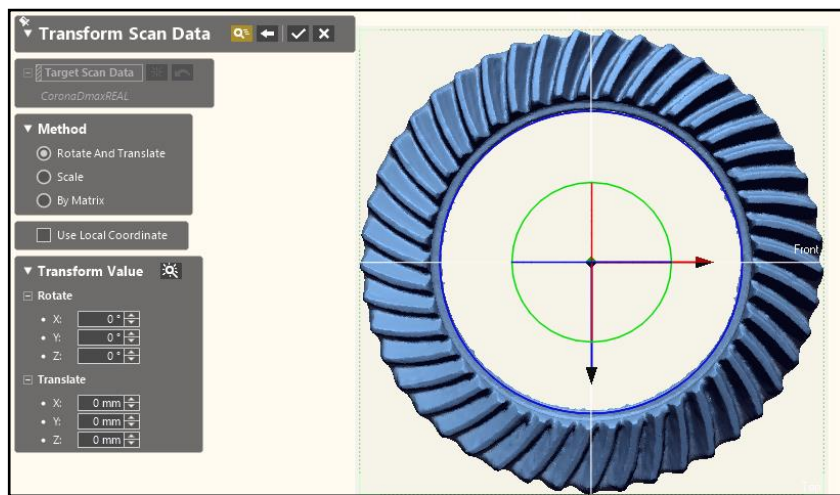


Figura 14-2. Modelo exportado a software Geomagic

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 14-2, se observa a la geometría importada, y se procede a centrar la pieza llevando al origen el componente; para ello mediante un croquis trazamos una circunferencia en el interior de la corona tomando como referencia para centrar la pieza con las operaciones de rotación y traslación.

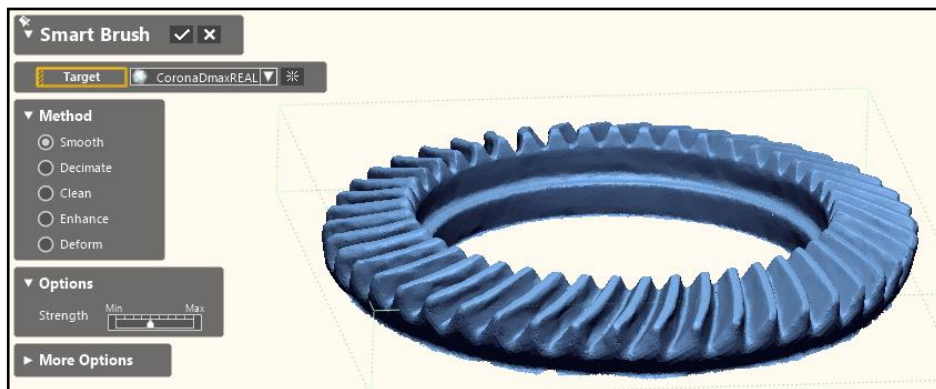


Figura 15-2. Suavizado del modelo

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 15-2 se observa el suavizado y relleno de agujeros, esto para corregir errores. El comando Smart Brush tiene diferentes métodos, para lo cual utilizaremos “smooth” para mejorar la calidad del componente y suavizarlo. Una vez realizado esto, se procede a aplicar la ingeniería inversa para reconstruir la geometría de ambos vehículos pick up.

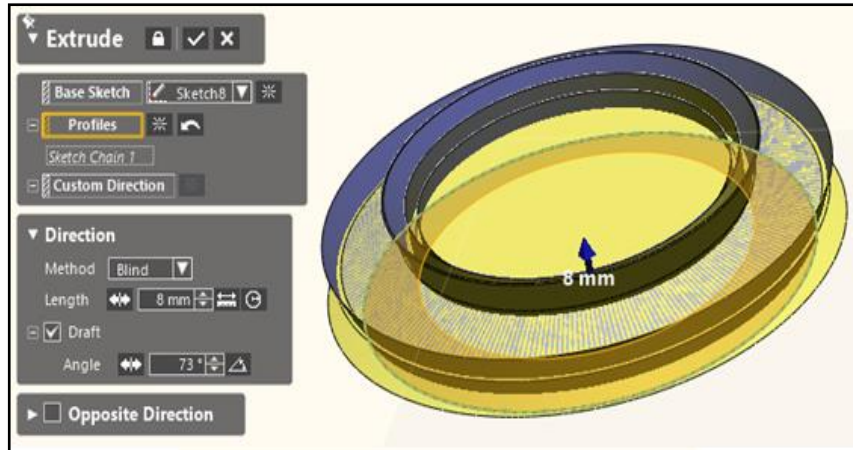


Figura 16-2. Extrusión del modelo Corona

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 16-2, se observa una extrusión realizada mediante el comando “extrude” en la pestaña MODEL, pues permite generar sólidos, superficies, recortes entre otros; de forma que se genera la extrusión de la geometría base y se procede a recortar mediante la generación de superficies hasta dar la forma.

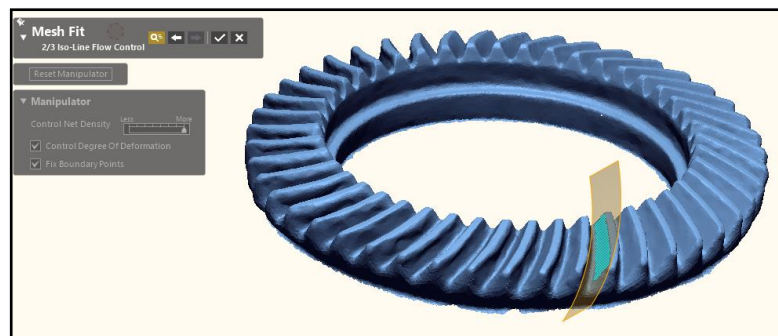


Figura 17-2. Selección de diente en la Corona

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 17-2 se observa la selección de diente, pues una vez generado la geometría base se identifica en la pieza escaneada el diente que presente menos rugosidad. Para esto, primero se pinta la zona donde se desea generar la superficie, luego aplicamos el comando “mesh fit” para que reconozca la cara seleccionada del diente y generar la superficie; este mismo proceso se aplica en la otra cara del diente. La Figura 18-2, muestra las superficies obtenidas.



Figura 18-2. Forma obtenida del diente de la corona

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 18-2 se observan las superficies obtenidas de la corona, y de esto, se eliminan las partes innecesarias que sobrepasan el diente hasta obtener una superficie reducida que este topando con la cara del diente, se unen ambas caras, obteniendo una sola superficie. Hecho esto, se procede a la generación de los dientes restantes, como se observa en la Figura 19-2.

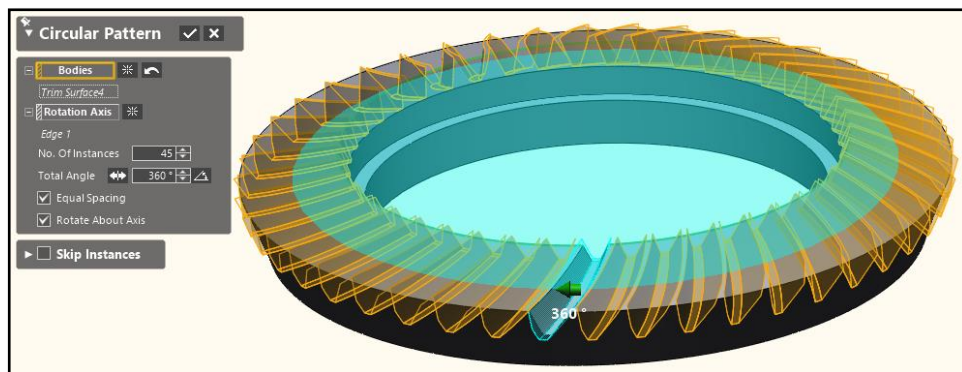


Figura 19-2. Generado de los dientes de la corona

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 19-2, se observa la generación de los dientes restantes mediante una matriz con 45 divisiones iguales, para luego proceder a recortar el sólido innecesario. El producto final se observa en la Figura 20-2. Posteriormente el sólido será exportado a solidworks en formato Parasolid Binary File .x_b, para complementar los detalles restantes del componente.

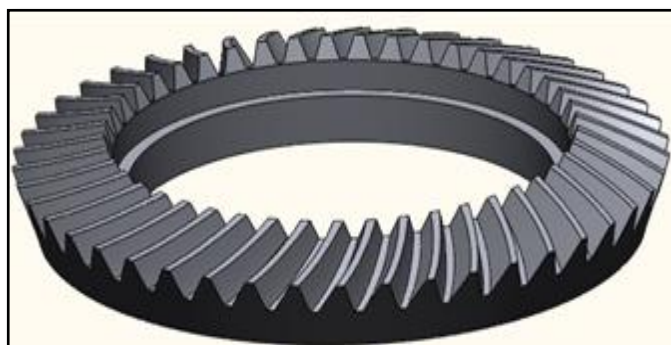


Figura 20-2. Producto final de la corona en Geomagic

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Terminada con la corona generada en Geomagic, se procede con el cono, repitiendo los pasos antes mencionados; importando el formato procedente de Agisoft, los pasos a realizar se detallan a continuación, iniciando con el alineado, suavizado y corrección de errores del componente como se observa en la Figura 21-2.

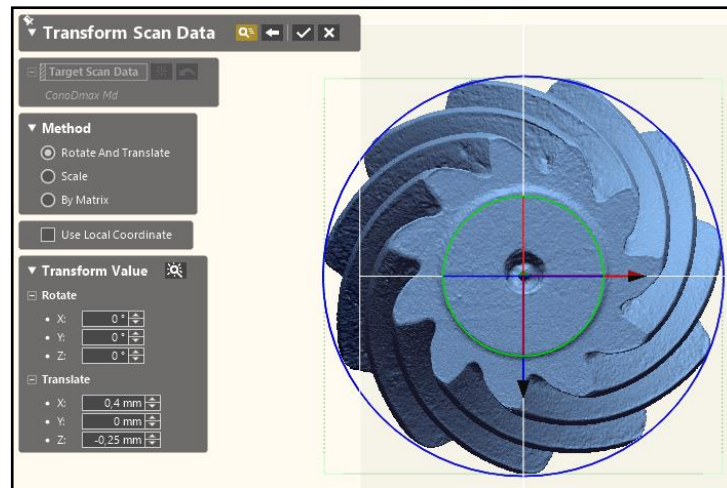


Figura 21-2. Centrado del cono

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

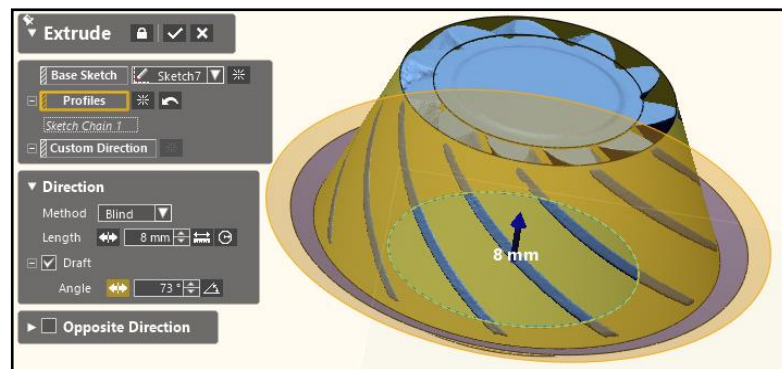


Figura 22-2. Extrusión del modelo Cono

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 22-2, se observa la extrusión a realizar mediante el comando “extrude” ubicado en la pestaña MODEL para generar las superficies necesarias que sea tangente a una región seleccionada. Posterior a esto, se seleccionan las caras del diente de mejor resolución, como se observó en los pasos anteriores correspondientes a la Corona.

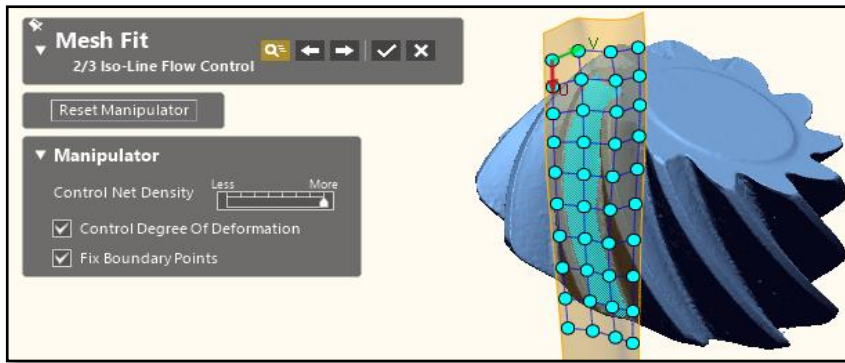


Figura 23-2. Selección de diente en Cono

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 23-2, se selecciona una cara del diente que tenga menor rugosidad para dar un mayor suavizado y se procede con el comando “mesh fit” para generar la superficie, una vez realizado una parte de la cara, se repite el mismo proceso para generar la superficie al otro lado de la misma.

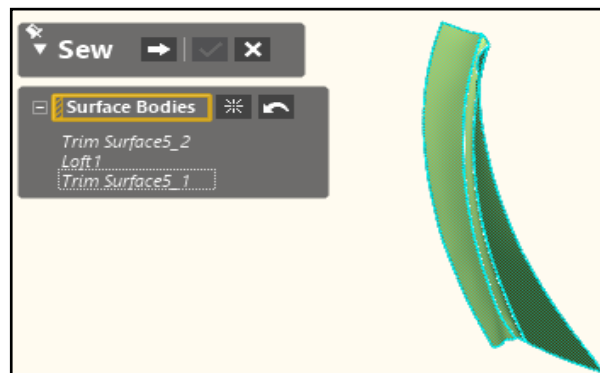


Figura 24-2. Forma obtenida del diente del cono

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 24-2, como en el caso de la corona, se recortan las superficies que sobrepasan y se unen las superficies restantes mediante el comando “sew”, generando una sola.

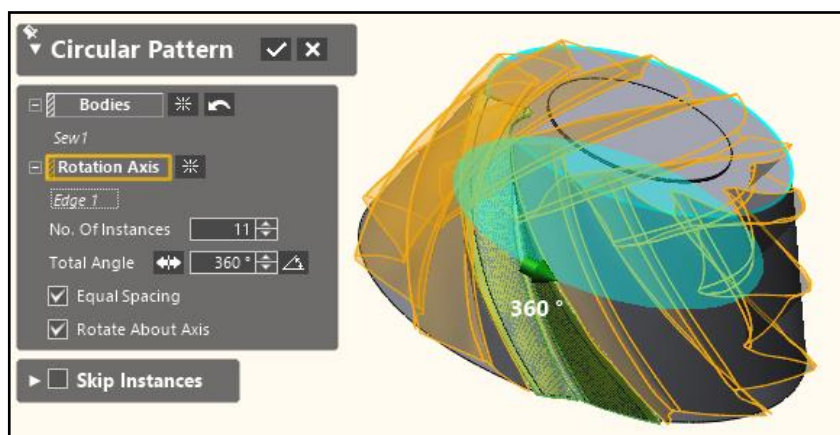


Figura 25-2. Generación de los dientes del cono

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 25-2, se genera una matriz circular con 11 divisiones y se recorta el sólido innecesario hasta dar la forma del componente. Su resultado final se aprecia en la Figura 26-2.



Figura 26-2. Producto final de cono en Geomagic

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 26-2 se observa el acabado final al cono de DMAX, de manera que el cono se encuentra listo para la exportación hacia Solidworks. De igual manera, se realiza el mismo procedimiento para la corona y el cono Wingle y sus resultados se observan en la Figura 27-2.

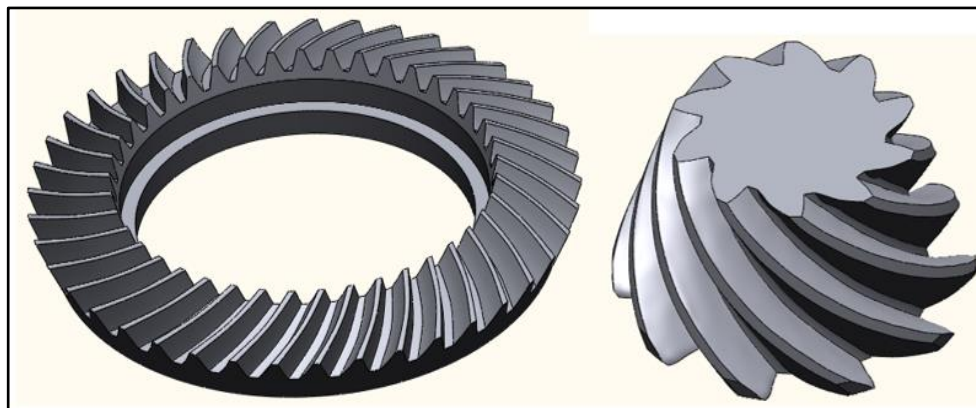


Figura 27-2. Corona y Cono Wingle generados en Geomagic

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Con los acabados finales para cada componente de los conjuntos previamente mencionados, se los exporta en formato Parasolid Binary File .x_b, para complementar la parte de los mangos en cada cono mediante el software Solidworks.

2.2.3. Generación de la geometría CAD

2.2.3.1. Importación del modelo generado

Al realizar la importación de los modelos obtenidos hacia Solidworks, el mismo realiza una reconstrucción del objeto. La misma se fundamenta en el uso de técnicas de corte, extrusión, revolución, etc., brindadas por los diversos softwares CAD de modelado 2D/3D; los parámetros para generar dichas operaciones se obtienen al compararlas con el objeto escaneado.

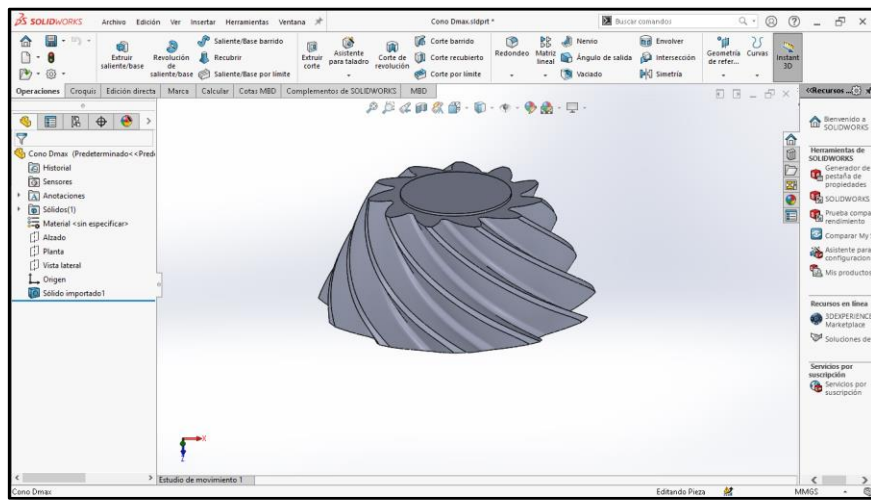


Figura 28-2. Cono importado a Solidworks

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 28-2, se observa el cono de la D-max en formato Parasolid Binary File .x_b, y se procede con el modelado del mango, como se observa a continuación.

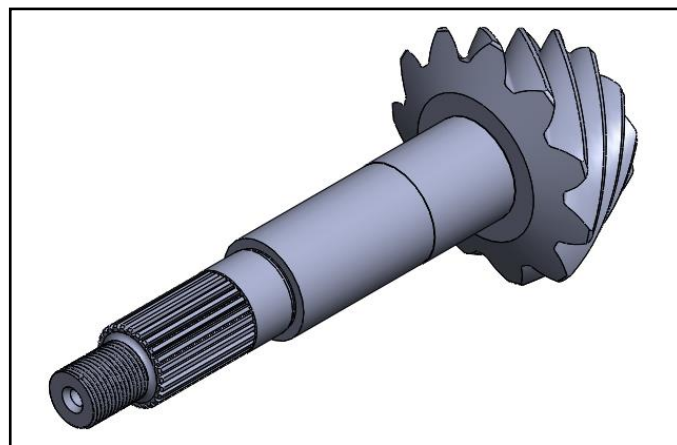


Figura 29-2. Mango del cono modelado.

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Se repite este procedimiento para la corona, y de igual manera se realiza los acabados pertinentes, esto se observa en la Figura 30-2.

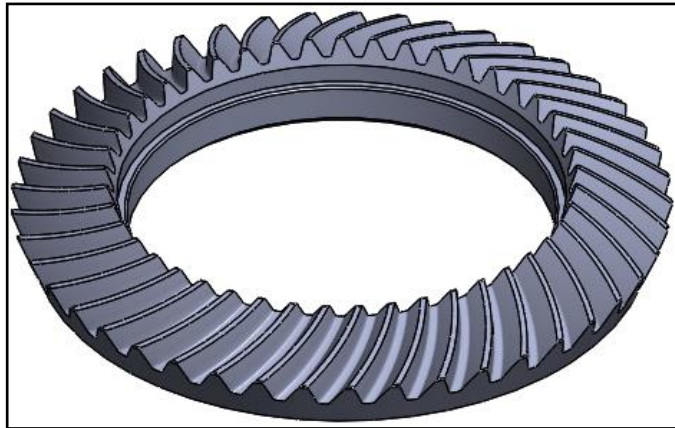


Figura 30-2. Corona importada a Solidworks.

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Obtenidos los componentes del conjunto Cono y Corona D-MAX, se procede con el ensamblaje del conjunto, de acuerdo al funcionamiento que proporciona el mismo y su posterior evaluación mediante elementos finitos, esto se observa en la Figura 31-2.

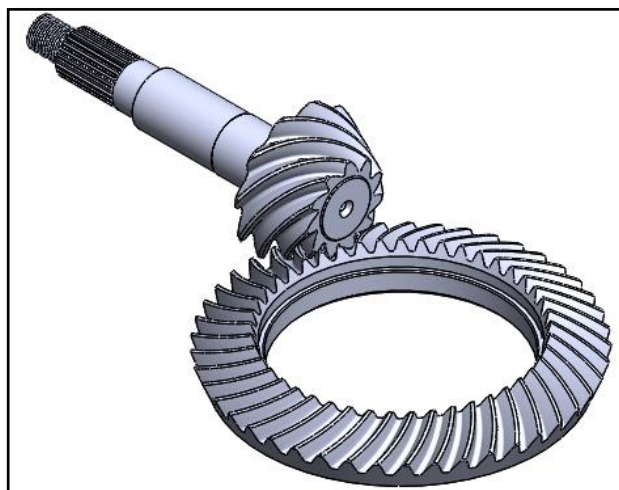


Figura 31-2. Generación de ensamble del sistema

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

2.2.4. Validación del CAD

2.2.4.1. Medición de dimensiones del objeto real

Esta fase consiste en la medición de las dimensiones características de un cono y una corona con la ayuda de calibradores, micrómetros, galgas, software computacional, etc. Las variables a medir

son aquellas que componen la geometría fundamental del dentado en engranajes de tipo hipocíclico y helicoidal, dentro de los que están:

- Número de dientes de los engranes
- Diámetro de las crestas (es recomendable usar un calibrador)
- Ancho de los dientes (es recomendable usar un calibrador)
- Altura de los dientes (es recomendable usar un calibrador)
- Addendum
- Dedendum
- Ángulo de inclinación de la hélice del cono de la cresta (usar la técnica de la huella de cresta, misma que consiste en pintar el exterior del diente y hacer rodar al engrane para medir su inclinación como se muestra en la Figura 32-2).

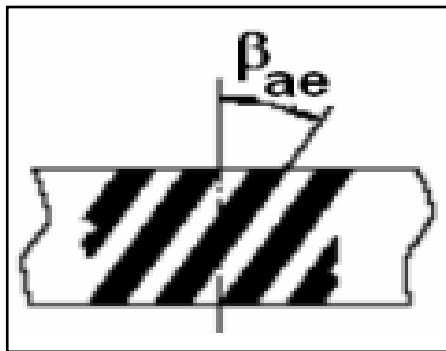


Figura 32-2. Huella de la cresta

Fuente: (Reyes y Cifuentes, 2018).

A continuación, en las Figuras 33-2, 34-2 y 35-2, se muestran las mediciones realizadas en las piezas analizadas con un calibrador pie de rey, el cual se utilizó con la finalidad de obtener una apreciación general de las medidas.

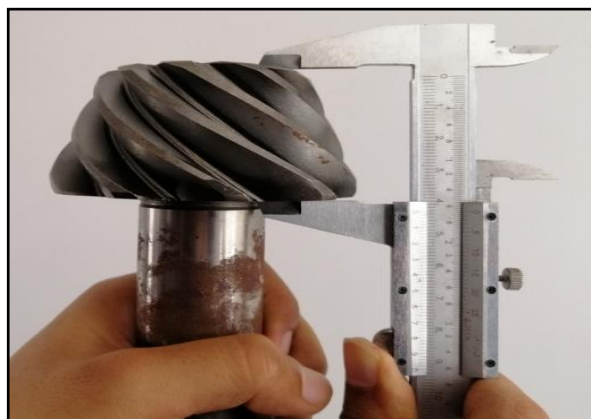


Figura 33-2. Medición como Wingle

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

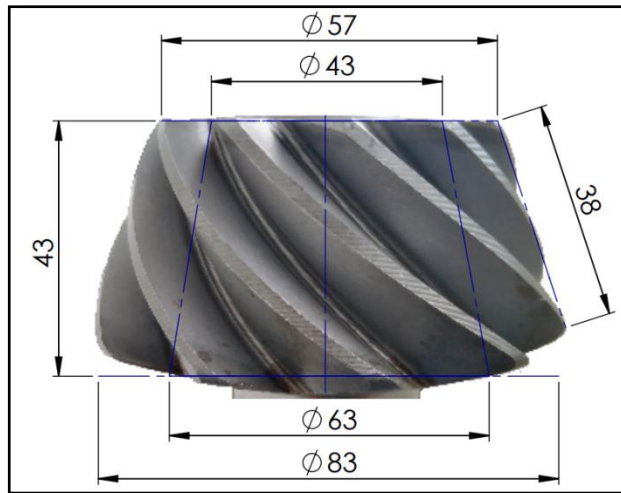


Figura 34-2. Medición como D-Max

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

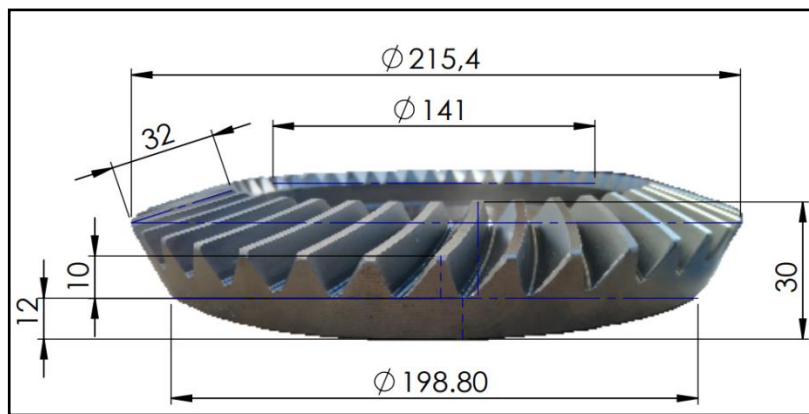


Figura 35-2. Medición corona D-Max

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

2.2.4.2. Medición de dimensiones del modelo CAD

Esta fase consiste en la medición de las variables establecidas en la sección 2.2.4.1 empleando las diversas herramientas de medición provistas por el software SolidWorks como se muestran en las Figuras 36-2 y 37-2.

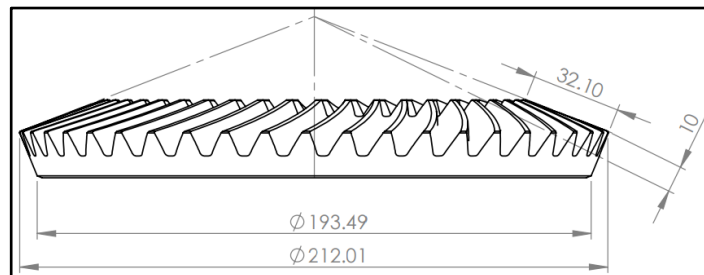


Figura 36-2. Medición de dimensiones del modelo 3D de la corona D-Max en software SolidWorks

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 36-2, en la corona se tiene la medición de los diámetros principales internos y externos, además del ancho y altura del diente. También se presenta la medida de la línea concéntrica entre el centro y la inclinación de los dientes de la misma.

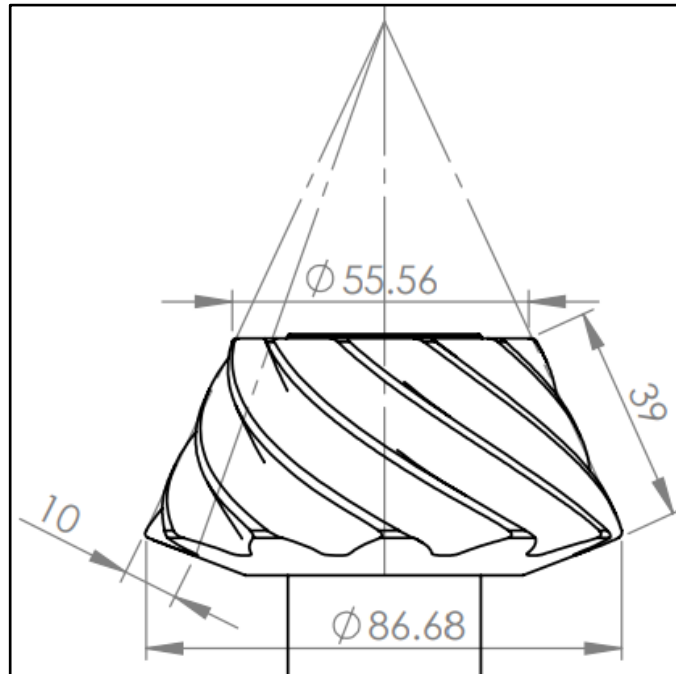


Figura 37-2. Medición de dimensiones del modelo 3D del cono D-Max en SolidWorks

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Para el cono al igual que la corona, se presentan los valores de los diámetros superior e inferior tanto de la cabeza como del mango; también se mide la altura de la cabeza como de las secciones del mango y altura de dientes. Por último, se observa la línea concéntrica entre el centro del cono y la inclinación de los dientes.

Lo anterior descrito se realiza para los dos conjuntos analizados, en donde se tiene el acoplamiento del cono y la corona mediante su línea concéntrica que determina su eje de giro. En los anexos C y D, se observan los planos correspondientes para cada conjunto de cono y corona D-max y Wingle, que contienen las medidas y tolerancias de los componentes a emplear para el análisis.

2.2.4.3. Aceptación del modelo

Una vez han sido determinados los parámetros de las secciones 2.2.4.1 y 2.2.4.2 se procede a compararlas y calcular el porcentaje de error existente entre las dimensiones del objeto real con el modelo 3D empleando la Ec. (1.2).

$$\%Error = \frac{|D_R - D_M|}{D_R} \times 100 \quad \text{Ec. (1.2)}$$

Donde:

D_R : Dimensión del objeto real (mm)

D_M : Dimensión del modelado 3D (mm)

Se consideran validos los modelos siempre y cuando los errores calculados se encuentren en un rango de diferencia de 0 a 10 en porcentaje, como lo establece Reyes & Cifuentes al afirmar: “El porcentaje de error ideal de un elemento reconstruido por escaneo 3D es de un 10% con respecto a las medidas del sólido original” (Reyes y Cifuentes, 2018, p.5).

2.2.5. Simulación con elementos finitos

2.2.5.1. Definición de variables

De acuerdo con Serna (2016, p.35), el ángulo de inclinación del diente es un parámetro fundamental que define la geometría del diente de un engranaje, los distintos valores que tome generan una trayectoria de contacto diferente para un arreglo entre engranes.

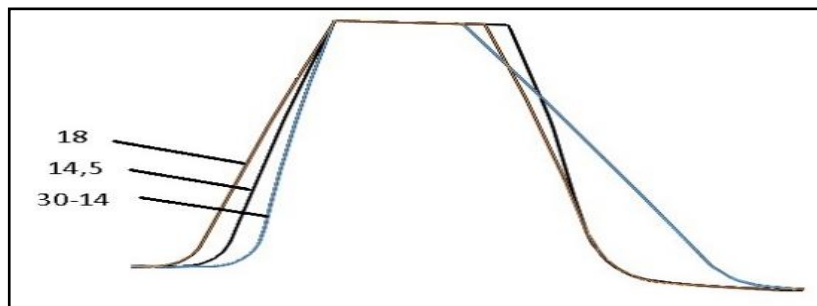


Figura 38-2. Ángulos de inclinación dientes para corona D-Max

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Para el presente proyecto se ha decidido tomar estos parámetros como variables a modificar y analizar los esfuerzos generados mediante el proceso de simulación, de forma que se realiza tres configuraciones diferentes con la finalidad de identificar la geometría que menor magnitud de esfuerzos sufre debido al contacto entre dientes.

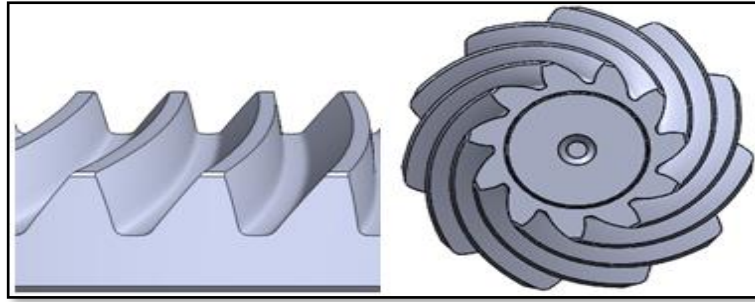


Figura 39-2. Configuración 30°-14° para ángulo de inclinación
dientes conjunto D-Max

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 39-2 se presenta la configuración original de los elementos para los ángulos de inclinación del diente, siendo estos de 30° de inclinación para el lado izquierdo del diente y de 14° para el lado derecho del mismo para la corona. Por otro lado, para el cono, se adaptan los dientes según la modificación de la geometría de la corona, esto quiere decir que la afectación a los dientes del cono serán inversas a la corona en función de los ángulos de cada lado para obtener el acople de los engranajes en conjunto.

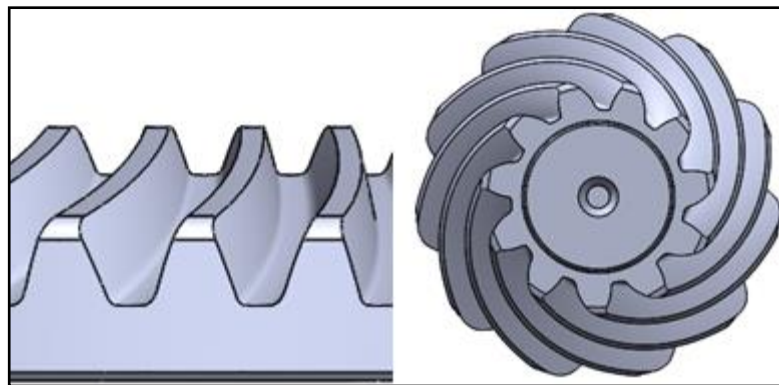


Figura 40-2. Configuración 18° - 18° para ángulo de inclinación dientes
conjunto D-Max

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 40-2 se propone la segunda configuración de los ángulos de inclinación para el conjunto los cuales se establecen equitativos para cada lado, obteniendo así un diente simétrico tanto para el cono como para la corona, pero conservando su huella de cresta. Esta configuración ayuda a comparar el beneficio o perjuicio que se genera en los engranajes al diseñarlos con ángulos de presión asimétricos e inclinados en dirección contraria al movimiento.

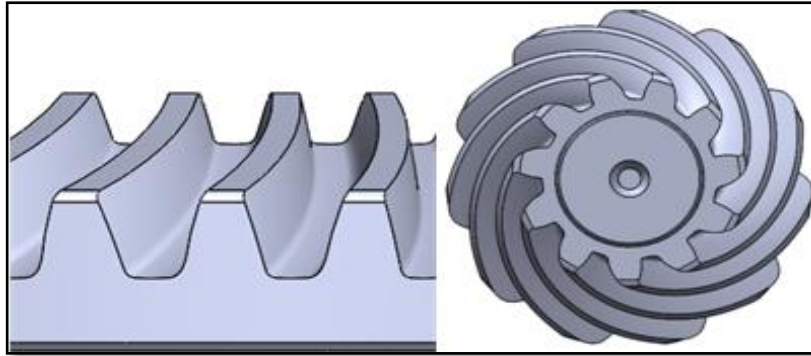


Figura 41-2. Configuración 14.5°- 14.5° para ángulo de inclinación
dientes conjunto D-Max

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Por último, se presenta en la Figura 41-2, en donde se tienen los ángulos de inclinación de la corona de 14.5° para su lado izquierdo y 14.5° para su lado derecho.

De igual manera, se aplica el mismo proceso para el cono y corona Wingle, de manera que exista una comparativa entre los resultados obtenidos. Las modificaciones se van adjuntando a continuación:

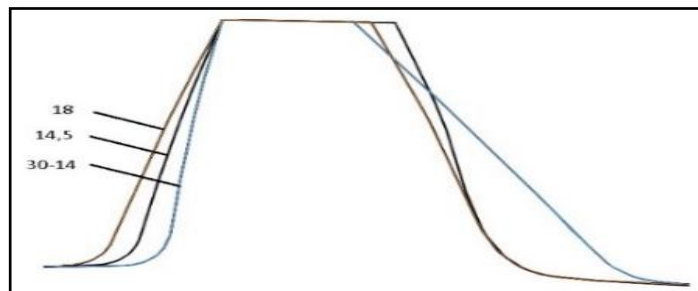


Figura 42-2. Ángulos de inclinación para corona Wingle

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En este sentido, se repite las mismas inclinaciones en los dientes de la corona y la compatibilidad en el cono, como se observan en las figuras a continuación.

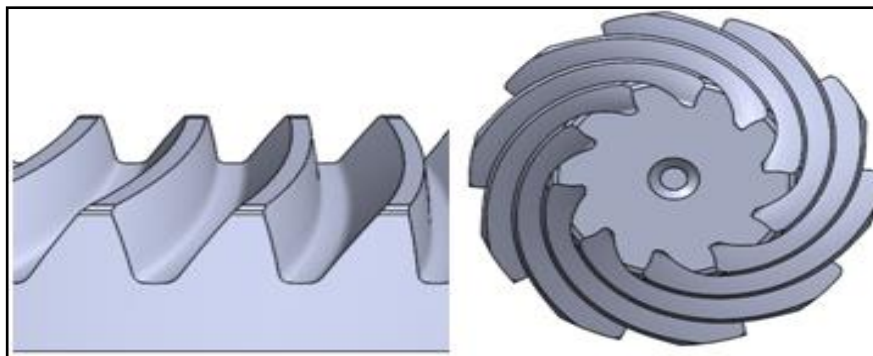


Figura 43-2. Configuración 30°-14° para ángulo de inclinación dientes
conjunto Wingle

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

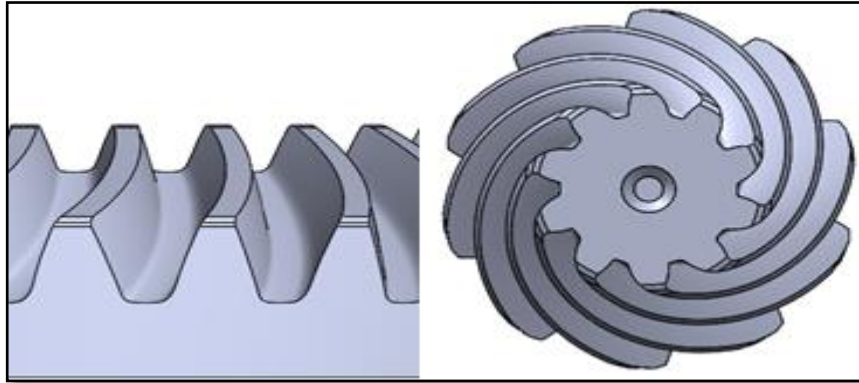


Figura 44-2. Configuración 18°-18° para ángulo de inclinación dientes conjunto Wingle

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

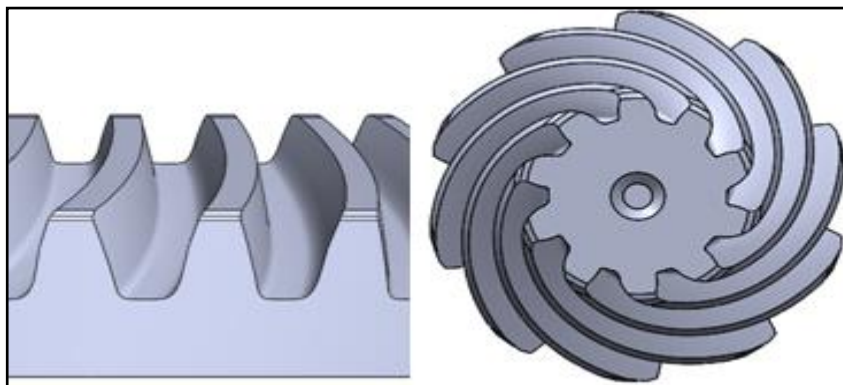


Figura 45-2. Configuración 14.5°-14.5° para ángulo de inclinación dientes conjunto Wingle

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

La forma final de los dientes es distinta al compararlos con la geometría de los dientes del cono y corona DMAX, esto permiten una mayor apreciación de los resultados y su comparación al momento de finalizar la simulación. De esto, se procede a la importación y simplificación de las geometrías.

2.2.5.2. *Importación y simplificación de la geometría*

Una vez ha sido validado el modelo 3D se ejecuta una simulación en la que se analiza los efectos de la variación de parámetros geométricos, como el radio de entalle, en la distribución de esfuerzos en el material. Para poder realizar la simulación se realizan simplificaciones geométricas con la finalidad de reducir el nivel de complejidad de la geometría y ejecutar la simulación en un menor tiempo y con un menor consumo de memoria por parte del programa de simulación. En el caso de la presente investigación han sido eliminados los detalles del mango

del cono debido a que los radios de acuerdo son muy pequeños, por tanto, incrementan la complejidad del mallado.

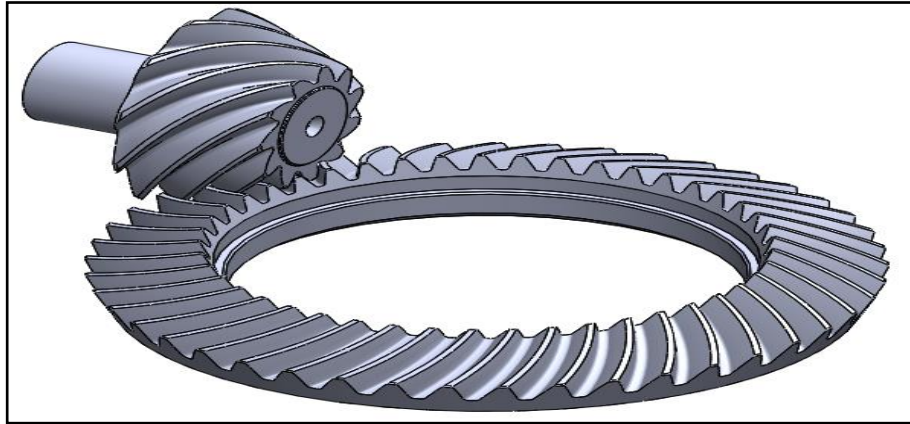


Figura 46-2. Simplificación geométrica de configuración cono y corona para D-Max

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 46-2 se presenta la geometría simplificada y exportada hacia ANSYS, en donde se mantienen las zonas de importancia de análisis las cuales son la geometría de los dientes tanto del cono como de la corona, nótese que el cono se encuentra modificado en la geometría de su eje, esto para propósitos del análisis que ayudan a la velocidad de resolución del mismo al disminuir los elementos que representarían, dejando definido la geometría completa de la cabeza.

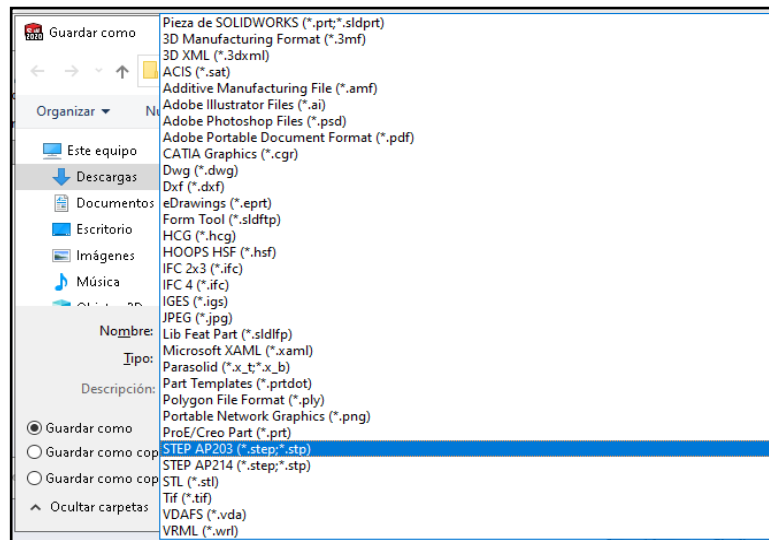


Figura 47-2. Formato de archivo de la geometría simplificada

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 47-2, se observa la importación del archivo, pues el mismo debe guardarse en formato STEP AP203 (.step; .stp) y se lo importa hacia el software ANSYS, donde se llevará a cabo la simulación.

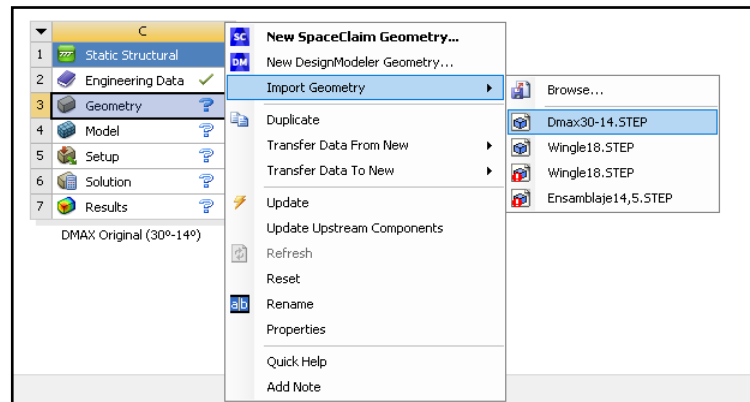


Figura 48-2. Importación de la geometría simplificada

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 48-2 se presenta la importación de la geometría hacia ANSYS, en donde se genera un módulo de análisis estructural estático para seguidamente seleccionar la geometría a ser importada.

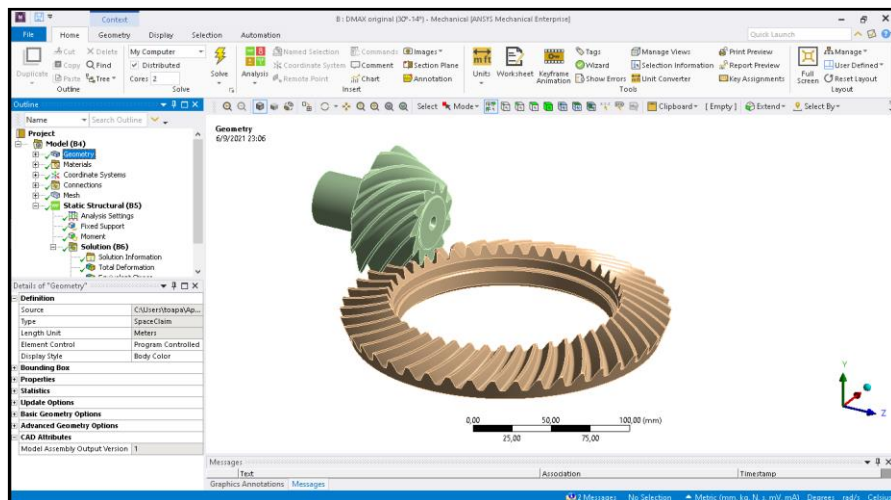


Figura 49-2. Geometría importada de Solidworks

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Posteriormente en la Figura 49-2 se abre el sub-módulo de “Model” en donde se observa la geometría importada y se establecen las condiciones de simulación, como son los contactos entre los componentes, las cargas a ser simuladas y los soportes fijos.

2.2.5.3. Definición del material

Para definir el material que se ha de emplear en la fabricación del cono y corona se ha considerado la sugerencia de Vaca, Martínez y Leguisamo (2020, p.34), que afirman: “Entre los materiales más comúnmente usados para la fabricación de engranajes helicoidales se tiene al acero AISI 4140 y AISI 4340”. Tomando en cuenta la sugerencia planteada, se selecciona el AISI 4140, sin embargo, el mismo se encuentra tratado térmicamente y enfriado por aceite, de manera que sus propiedades mecánicas presenten mejores resultados, como se observa en la Tabla 4-2. Nótese también que este material es mecanizable, de forma que se cumple un requerimiento fundamental que se ajusta al enfoque del presente proyecto.

Tabla 4-2: Propiedades mecánicas AISI 4140 (Templado y enfriado a 205°C)

Propiedad	Unidad	Valores
Densidad	[kg/m ³]	7800
Módulo de Young	[GPa]	208
Coefficiente de Poisson	-	0.285
Dureza	[HB]	455
Tensión de rotura a tracción	[MPa]	1600
Tensión de fluencia	[MPa]	1480

Fuente: (CES EDUPACK, 2019).

El anexo A especifica de mejor manera el material empleado, junto con su composición química y nombres comerciales con los cuales puede encontrarse el mismo.

A partir de esta consideración se define el material en cada uno de los elementos de la configuración seleccionada.

Material Field Variables	Table	
Density	7800	kg m ⁻³
Isotropic Elasticity		
Derive from	Young's Modulus and...	
Young's Modulus	2.08E+05	MPa
Poisson's Ratio	0.285	
Bulk Modulus	1.6124E+11	Pa
Shear Modulus	8.0934E+10	Pa
S-N Curve	Tabular	
Interpolation	Log-Log	
Scale	1	
Offset	0	MPa
Tensile Yield Strength	1480	MPa
Tensile Ultimate Strength	1600	MPa

Figura 50-2. Definición del material

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

2.2.5.4. Generación del mallado

De acuerdo con ANSYS (2019, p.128): “Definir el mallado más adecuado a la geometría de trabajo es la clave para la buena obtención de resultados en la simulación”. Motivo por el cual, se ha generado un mallado del orden tetraédrico y cuadrático para toda la geometría de la configuración cono y corona, esto debido a las superficies de contacto y mejor resolución de los resultados.

Details of "Mesh"	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Quadratic
<input type="checkbox"/> Element Size	2, mm
Sizing	
Use Adaptive Sizing	Yes
Resolution	Default (2)
Mesh Defeaturing	Yes
<input type="checkbox"/> Defeature Size	Default
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Initial Size Seed	Assembly
Bounding Box Diagonal	349,98 mm
Average Surface Area	400,86 mm ²
Minimum Edge Length	0,81232 mm

Figura 51-2. Definición del mallado

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Como se observa en la Figura 51-2, las características de la malla a emplear poseen la dimensión de 2 mm como tamaño de los elementos. Asimismo, se activa el tamaño adaptivo, esto permitirá que la malla se ajuste a las curvaturas de los componentes, conservando de mejor manera la geometría de los mismos.

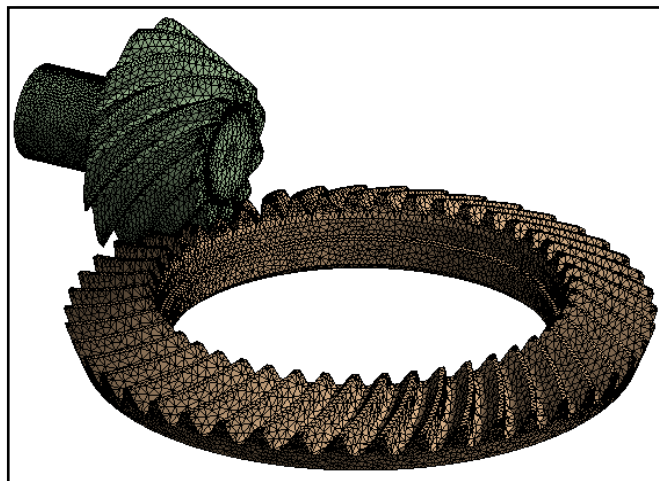


Figura 52-2. Componentes mallados en su totalidad

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 52-2, se observan los componentes mallados con las características antes mencionadas. Nótese que se conserva la geometría del conjunto en su totalidad, pues se observan las curvaturas, espacios y formas de los dientes del cono y corona. Al emplear este tipo de malla es necesario evaluarla mediante la relación de aspecto (aspecto ratio), la cual divide la longitud del lado más largo con la longitud del lado más corto, de acuerdo a esto obtiene una relación que debe ser igual a 1, cuantos más elementos alcancen este valor aproximado, la malla no presentará problemas al realizar la simulación, siendo considerada como óptima según sea el caso y el tipo de análisis a realizar, pues en caso de un análisis de tensiones la relación puede ser de 3:1 y si es un caso de desplazamientos puede ser de 10:1. (ANSYS Inc, 2019, p.86). Los valores obtenidos se detallan a continuación:

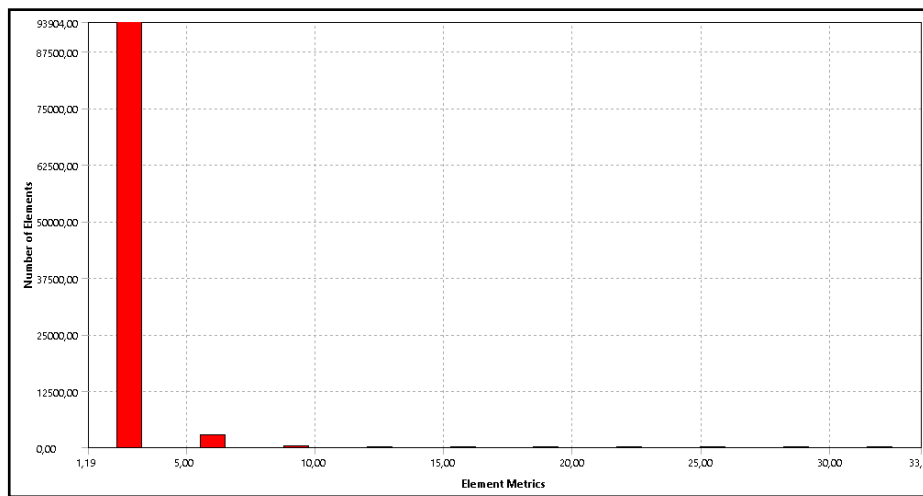


Gráfico 1-2. Calidad y cantidad de elementos obtenidos en mallado D-MAX

Realizado por: Rivera, E; Toapanta, M., 2022.

En el Gráfico 1-2, se observa la cantidad de elementos que presenta una relación de aspecto favorable para la simulación.

Tabla 5-2: Calidad y cantidad de nodos y elementos en DMAX

Nodes/ Elements		Aspect Ratio
173455/96976	min	1,185
	max	33,555
	prom	2,393
	desv	1,595

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

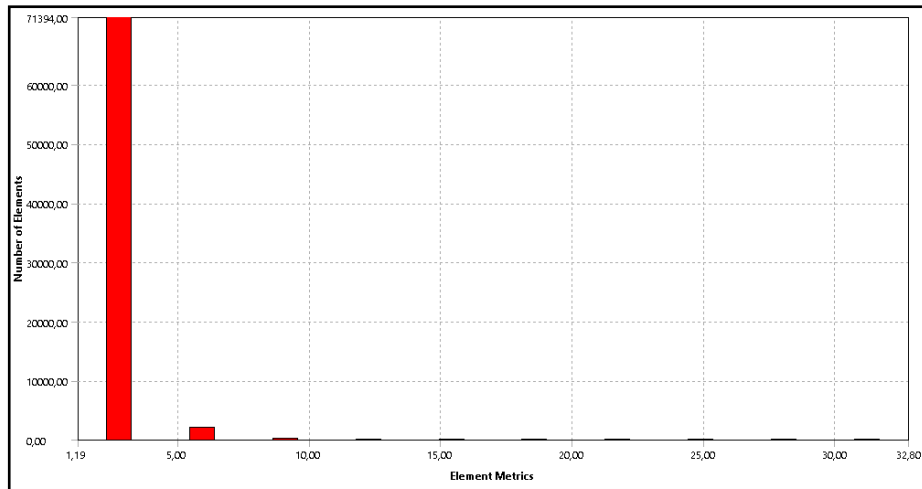


Gráfico 2-2. Calidad y cantidad de elementos obtenidos en mapeo Wingle

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En el Gráfico 2-2, se observa la cantidad de elementos para el conjunto Wingle que presenta una relación de aspecto favorable para la simulación. Nótese que alrededor de 71000 elementos poseen una calidad buena para el proceso a analizar.

Tabla 6-2: Calidad y cantidad de nodos y elementos en Wingle

Nodes/ Elements		Aspect Ratio
133038/73515	min	1,1887
	max	32,797
	prom	2,355
	desv	0,85689

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

De lo observado, los elementos poseen en promedio una relación de 2,393 y 2,355, esto denota que los elementos poseen una dimensión correcta y se encuentran óptimos para el tipo de análisis a realizar. Especificada el tipo de malla, su dimensión y calidad, es necesario evaluar los resultados obtenidos en cada cono y corona.

2.2.5.5. Definición de condiciones de borde y contacto

Debido a que la configuración cono-corona es un sistema que permite la transmisión de velocidad y torque mediante el contacto diente con diente se definen las condiciones de contacto mostradas en la Figura 53-2.

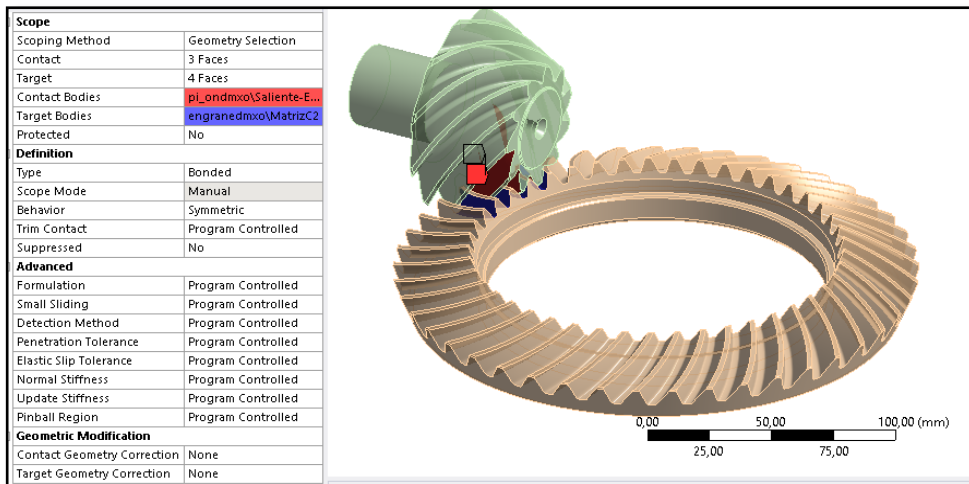


Figura 53-2. Definición de parámetros de contacto

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 54-2, se presentan las áreas de contacto afectadas para los dos elementos de cada conjunto en donde se observan la afectación de 3 dientes completos tanto del cono como de la corona y una cara del anterior y posterior del diente. Se tiene una selección completa del área interior de cada diente debido a que en la construcción del CAD en SolidWorks se genera como caras separadas la cresta con la parte interna del diente. En este análisis no se seleccionan las crestas debido a que el conjunto de engranajes no debe estar configurado ni diseñado en apriete sino en juego, por lo cual las crestas de los dientes de un elemento no van a entrar en contacto con el otro elemento.

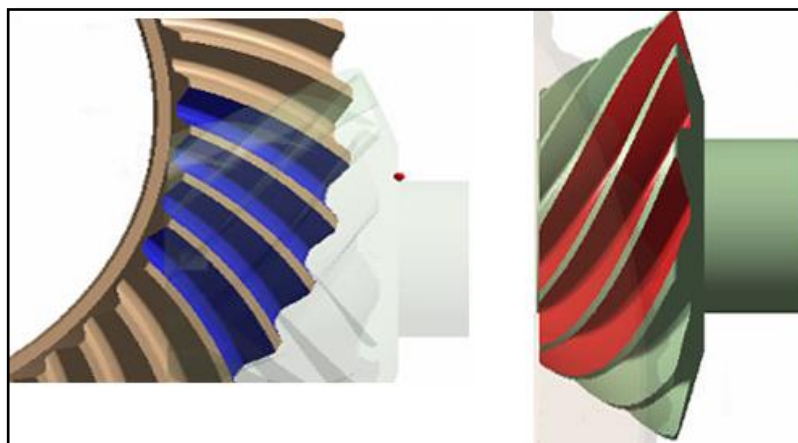


Figura 54-2. Selección de contactos en cono y corona

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

2.2.5.6. Definición del torque de conjunto

Como es de conocimiento, los modelos a examinar poseen distintas características en cuanto a los valores de potencia, torque y revoluciones por minuto; esto se detalla en las figuras a continuación.

Potencia neta, Torque neto y Capacidad de carga				
Especificaciones				
CABINA	MOTOR	Potencia Neta (HP @ rpm)	Torque Neto (Nm @rpm)	Capacidad de Carga (kg)
DOBLE	3,0L DIESEL TURBO CD TM 4X4 STD	134 @ 3600	294 @ 1400-3000	1045
	3,0L DIESEL TURBO CD TM 4X4 AC	134 @ 3600	294 @ 1400-3000	1045
	2,4L GAS CD MT 4X4 STD	150 @4250	224 @ 4000	930
	3,0L DIESEL TURBO CD MT 4X4 FULL	134 @ 3600	294 @ 1400-3000	1045
	2,4L GAS 4x2 CD TM STD	150 @4250	224 @ 4000	1015
	2,4L GAS 4x2 CD TM AC	150 @4250	224 @4000	985
	3,0L DIESEL TURBO 4x2 CD TM STD	134 @ 3600	294 @ 1400-3000	1090
	3,0L DIESEL TURBO 4x2 CD TM AC	134 @ 3600	294 @ 1400-3000	1090

Transmisión		
Modelo MSG5K (Transmisión manual)		
Especificaciones		
Transmisión de cinco velocidades (engranaje de sobremarcha para 5ª), cambio sincronizado para 1ª a 5ª y marcha atrás		
Relación de engranajes (a 1)	1ª	4,122
	2ª	2,493
	3ª	1,504
	4ª	1,000
	5ª	0,855
	Marcha atrás	3,720
Capacidad de aceite de la transmisión [Valor de referencia]	litros (gal. US/gal. Imp.) 1,55 (0,41 / 0,34)	

Figura 55-2. Especificaciones técnicas DMAX

Fuente: (Chevrolet, 2018).

Nótese que la Figura 55-2, especifica las relaciones de velocidad obtenidas mediante las marchas que se encuentran en el vehículo, de esta manera, es posible calcular el torque aplicado del motor hacia el cono. De la misma manera debe realizarse para el modelo Wingle.

		GASOLINA	
ESPECIFICACIONES		DOBLE CABINA	
		4X2	
		ELITE	ELITE PLUS
Motor	Gasolina 4 cilindro en línea		
Cilindrada (L)	2.2		
Potencia (HP/RPM)	99 / 4.600		
Torque (NM/RPM)	180 / 2.400 - 2.800		
Sistema de tracción	Trasera		
Transmisión	Mecánica de 5 velocidades		
Caja de transferencia	NO		
Sistema de dirección	Servoasistida		
Estructura	Chasis reforzado		
Suspensión delantera	Eje oscilante espiral y amortiguador		
Suspensión trasera	Eje rígido con paquete de resortes		
Sistema de frenos	Servofreno de doble circuito de vacío		
Frenos (delantero/trasero)	Discos ventilados / Tambor		

TRANSMISSION					
Item	6MT		5MT		
Model	ZM016B/R631A	ZM016BF/R631B	ZM001Z/ZM001ZF	ZM001B/ZM001BF	
Main reduction ratio	4.1/4.875	4.1/4.875	4.1/4.875	4.22	
Transmission ratio	First gear	4.179	4.179	4.452	
	Second gear	2.330	2.330	2.398	
	Third gear	1.436	1.436	1.334	1.414
	Fourth gear	1.000	1.000	1.000	1.000
	Fifth gear	0.838	0.838	0.757	0.802
	Sixth gear	0.696	0.696	—	—
	Reverse gear	4.220	4.220	4.220	4.473

Figura 56-2. Especificaciones técnicas Wingle

Fuente: (GREATWALL, 2020).

Para la definición de las condiciones de borde se ha definido una relación de transmisión $R_T = 4.122$ de acuerdo con Chevrolet (2018, p.2), además se ha considerado un torque máximo $T_I = 294$ Nm. Empleando la Ec. (2.2) se ha determinado el torque T_O que corresponde a la carga existente en la configuración cono-corona, cuyo valor se emplea para las definir las condiciones de borde (Budynas y Nisbett, 2019, p.56).

$$\frac{T_O}{T_I} = R_T \quad \text{Ec. (2.2)}$$

Donde:

T_O : Torque en el cono-corona (Nm)

T_I : Torque del motor (Nm)

R_T : Relación de transmisión

Así, se obtiene:

$$T_O = R_T * T_I$$

$$T_O = 4.122 * 294 Nm$$

$$T_O = 1211.868 Nm$$

Y el torque aplicado a Wingle será de:

$$T_0 = 801.36 \text{ Nm}$$

En ambos casos, el torque aplicado va relacionado entre el torque entregado por el motor y la relación de transmisión obtenida en la primera marcha, debido a que entrega el par máximo producido por el mismo.

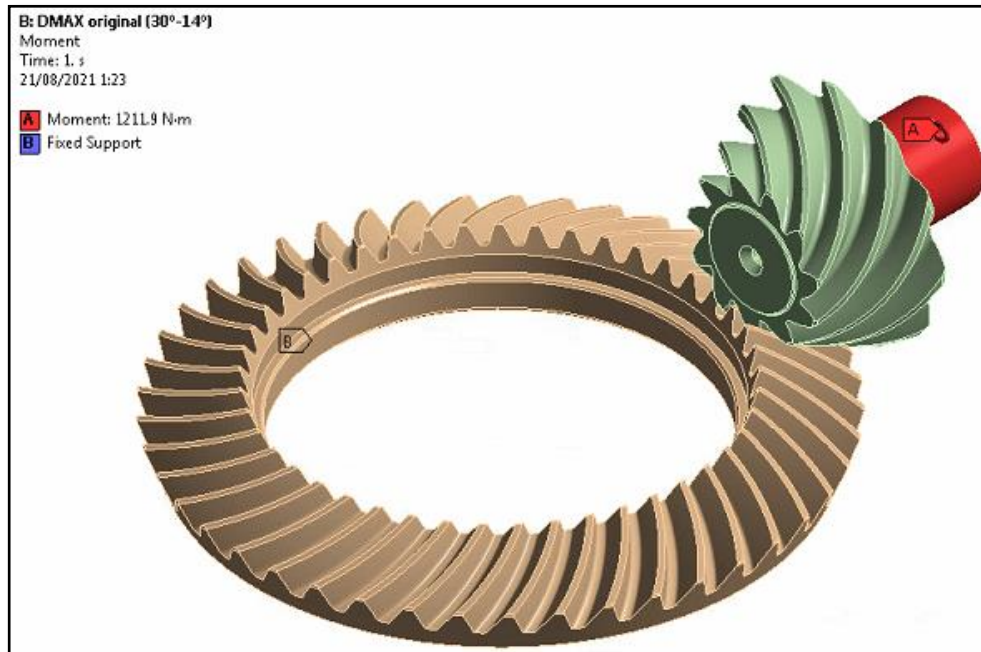


Figura 57-2. Definición de condiciones de borde

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 57-2, se observan las condiciones de frontera que serán aplicadas a los componentes de los distintos conjuntos; nótese que la diferencia entre los conjuntos a examinar, aparte de las dimensiones y geometrías que presentan, es el valor de la carga o torque, ya que las mismas condiciones serán aplicadas en los mismos lugares de los componentes. El torque se lo ubica en el eje de transmisión de movimiento del cono, y el apoyo fijo se lo ubica en la base de la corona.

2.2.5.7. Configuraciones de simulación

Una vez se han definido las condiciones de borde, mallado y contactos se especifica la configuración que tiene la simulación a realizar. Al simular engranajes Zhan y Reza (2017, p.5), sugiere que es favorable desactivar la opción Auto Time Stepping para acelerar el proceso de cálculo.

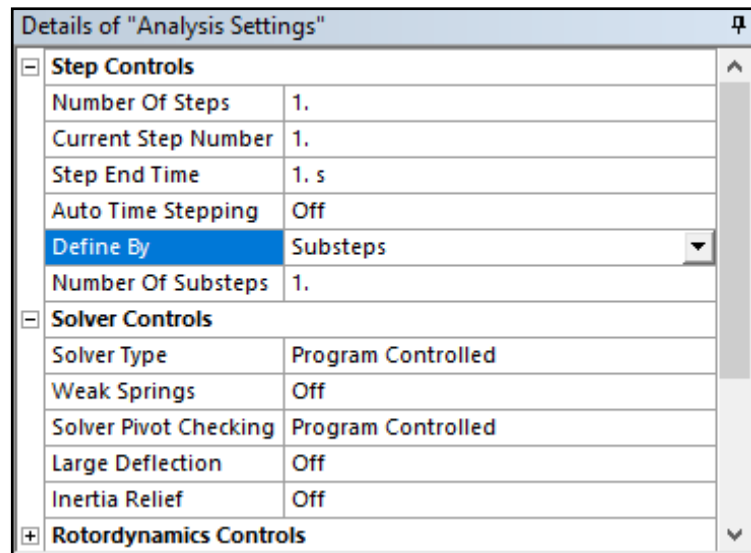


Figura 58-2. Configuración del análisis

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

2.2.5.8. Configuración de soluciones presentadas

Finalmente, se seleccionan los análisis a realizar en la simulación. Para el presente proyecto se ha decidido ejecutar: análisis de los esfuerzos en el material usando el criterio de Von Mises, deformación total, vida útil y factor de seguridad a fatiga.

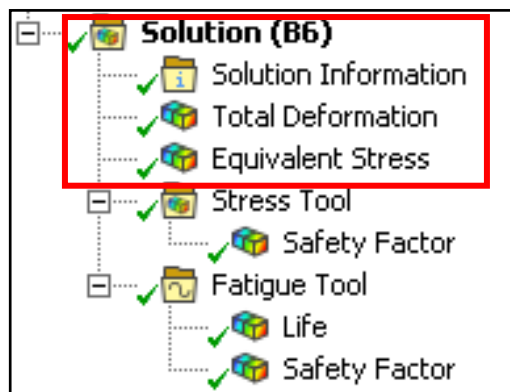


Figura 59-2. Configuración esfuerzos Von Mises y Deformación

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 59-2, se observa los resultados a obtener en la simulación, sin embargo se resalta la deformación total y el esfuerzo equivalente, esto debido a que dichos resultados deben ser calculados de acuerdo a la configuración por defecto que emplea el software, ya que se necesitan los valores basados en todo el conjunto y el esfuerzo a calcular debe ser Von Mises.

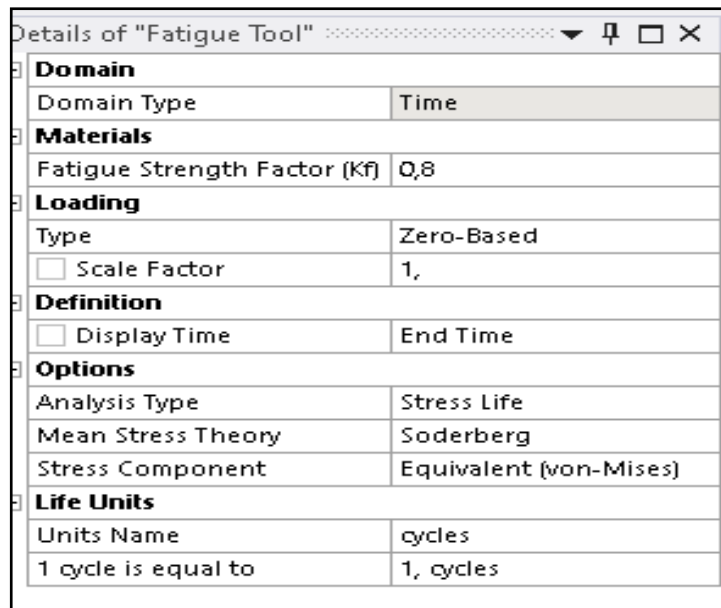


Figura 60-2. Configuración de Factor de seguridad y Ciclo de vida

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Asimismo, los factores de seguridad y ciclo de vida emplean el criterio de Soderberg, dado que emplea el factor de fluencia del material. Se escoge este tipo de criterio debido a que el conjunto no debe deformarse de manera permanente ya que los componentes del mismo, no ejecutarían la acción deseada de forma correcta. También hay que tener presente que las condiciones de fabricación y trabajo de estos elementos no son en condiciones ideales, sino que intervienen ciertos factores que acortan la vida de los elementos como son; aspectos geométricos de las piezas, métodos y forma de fabricación, condiciones térmicas de trabajo, entre otros. Por tal motivo el factor de resista a la fatiga (Kf) debe ser menor a 1, en este estudio se ha considerado un kf igual a 0.8. En la Figura 61-2 se observa un resultado de ejemplo que especifican los resultados y colores que podría tomar el conjunto.

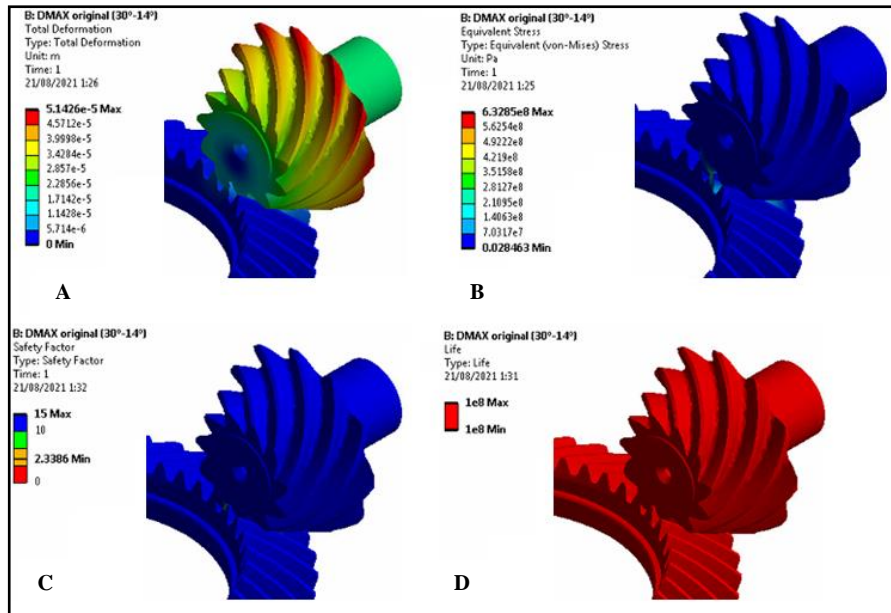


Figura 61-2. Ejemplo de resultados a obtener. A) Deformación. B) Esfuerzo de Von Mises. C) Factor de seguridad. D) Ciclo de vida
Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

2.2.6. *Procesamiento CAM*

2.2.6.1. *Determinación de actividades de mecanizado empleando el software CAM*

Para determinar las actividades necesarias para la fabricación del cono y corona se emplea el modelo generado en SolidWorks y exportarlo hacia el software CAM mediante el cual se generan las trayectorias, herramientas y se establecen los pasos para lograr obtener la pieza. Los parámetros a tomar en cuenta son el material y el sistema al cual deberá exportarse el código generado, siendo el material AISI 4140 y un sistema Fanuc. De esto, se realiza un proceso distinto para cada componente, empleando herramientas tanto para acabado y desbaste, los mismos se detallan a continuación:

Tabla 7-2: Herramental y proceso para Corona DMAX

Proceso	Herramental a emplear
Desbaste	Fresa de 20 mm End Mill
	Fresa de 10 mm End Mill
Semi acabado	Fresa de 6 mm End Mill
	Fresa de 4 mm End Mill
Acabado	Fresa de 6 mm End Mill
	Fresa de 2 mm Ballnose

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Los herramientas a emplear y sus dimensiones junto con las revoluciones y velocidades de avance recomendadas pueden observarse en el anexo B.

De la Tabla 7-2 se observa que se emplea alrededor de 5 herramientas, los cuales 2 serán empleados para el desbaste dado el diámetro del mismo, de esta manera, se desbaste la mayor cantidad de material, generando el contorno del componente a la vez. Finalizado el desbaste, se realiza un semi acabado y acabado con fresas de 6, 4 y 2 mm.

El semi acabado de los dientes de la corona se realiza después del proceso de desbaste, para que el componente posea la forma que se desea y por último se realiza un acabado, de manera que se obtenga las dimensiones exactas de acuerdo a la tolerancia deseada.

La Figura 62-2, detalla a modo resumen las operaciones a realizar en el software CAM.

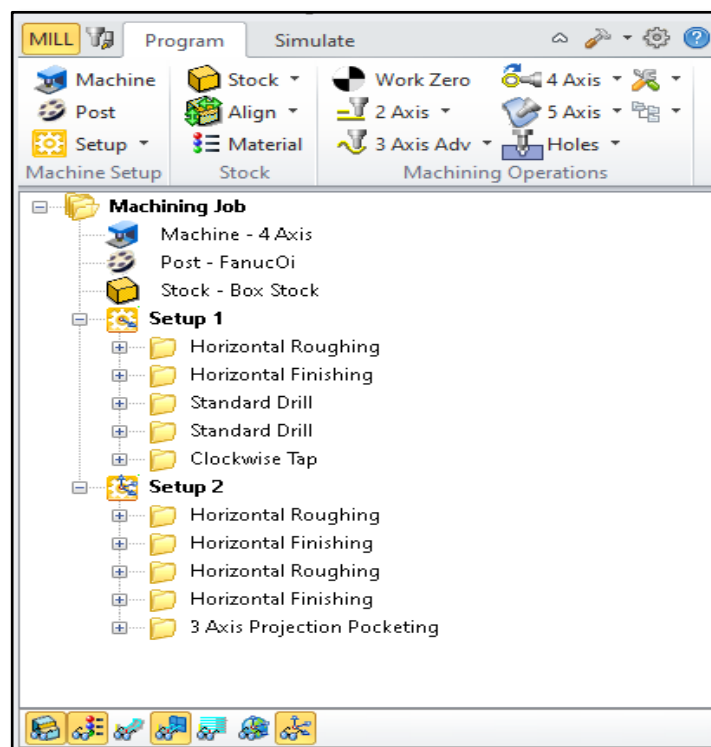


Figura 62-2. Resumen de operaciones Corona D-MAX

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

2.2.6.2. Maquinado de Corona (D-MAX)

El proceso y configuración de los parámetros antes mencionados es el siguiente:

Se debe importar el componente previamente guardado en formato Step (.stp), pues generalmente, los programas de mecanizado suelen trabajar en su mayoría con superficies.

Importado el componente, es necesario seleccionar las dimensiones del bloque del material sobre el que se va a realizar el mecanizado, el tipo de proceso a emplear, en este caso se emplea Fresa

(Mill) de 3 ejes debido a los subprocesos que es capaz de realizar con la configuración correcta. Esto se observa en la Figura 63-2.

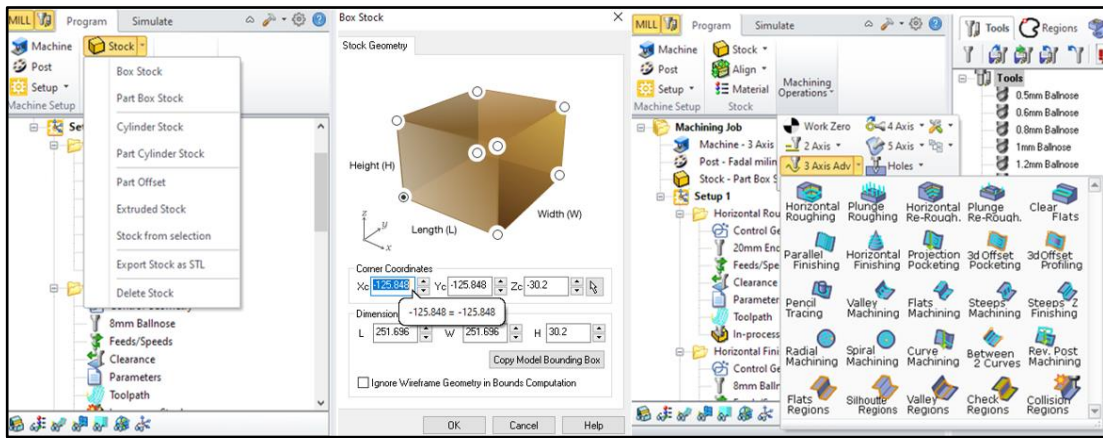


Figura 63-2. Configuración inicial del proceso Corona DMAX

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Nótese que la configuración debe establecerse los límites del herramental, esto se observa en la Figura 64-2.

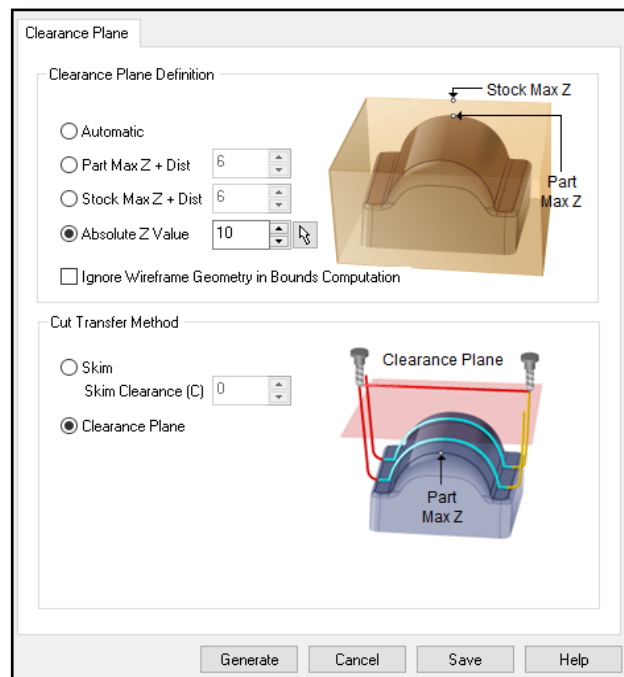


Figura 64-2. Clearance del proceso Corona DMAX

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Esta configuración establece el límite superior del herramental, de manera que se reduzca el tiempo que realiza los distintos procesos de desbaste, semi acabado y acabado. Este se configura en valor absoluto Z de 10. Lo siguiente es la configuración de los herramientas para desbaste, semi acabado y acabado.

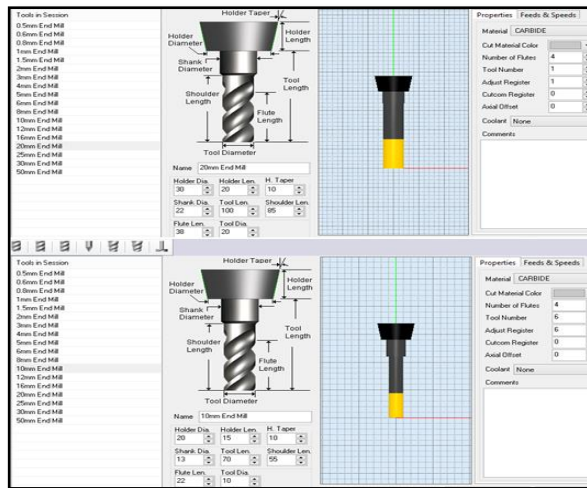


Figura 65-2. Herramental para desbaste corona

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

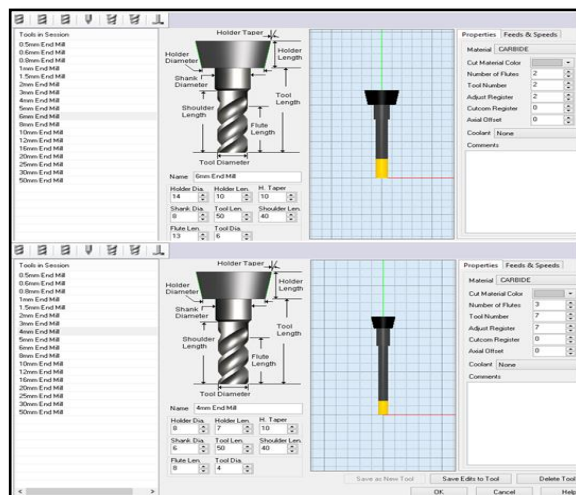


Figura 66-2. Herramental para semi acabado corona

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

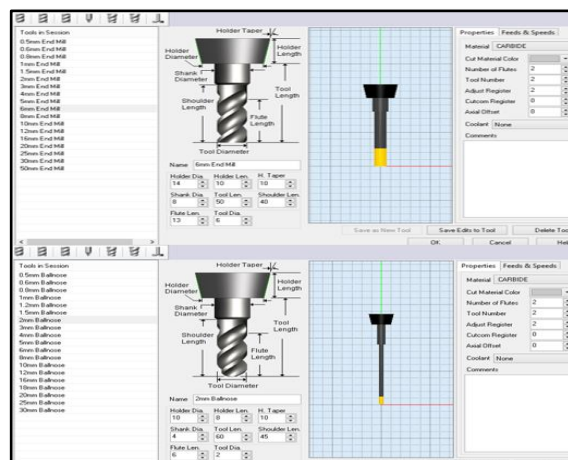


Figura 67-2. Herramental para acabado Corona

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En las Figuras 65-2, 66-2 y 67-2, se observan las configuraciones de los herramientas a emplear. Nótese que cada herramienta posee un diámetro distinto, pues se emplea un mayor diámetro para el desbaste y menores diámetros para acabados.

Una vez creado los herramientas para cada proceso, se establecen las velocidades de trabajo del herramienta, como se observa en la Figura 68-2, 69-2 y 70-2.

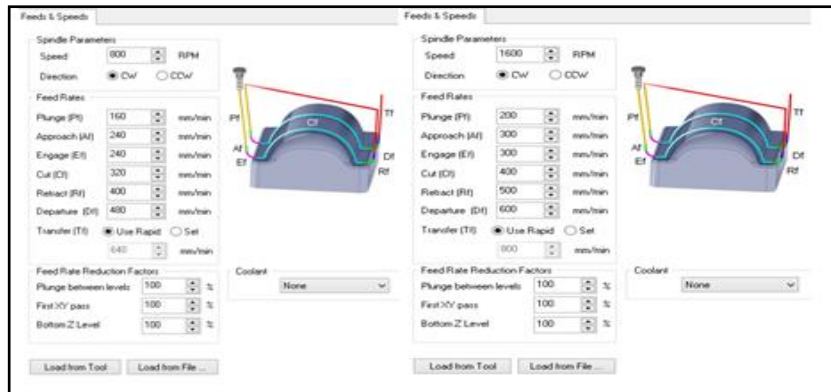


Figura 68-2. Configuración de velocidad de desbaste corona

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

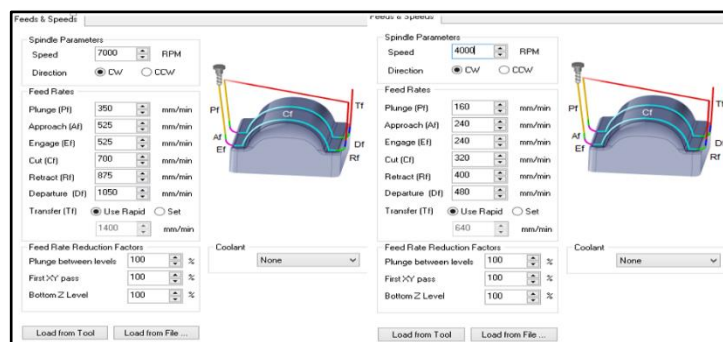


Figura 69-2. Configuración de velocidad de semi acabado corona

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

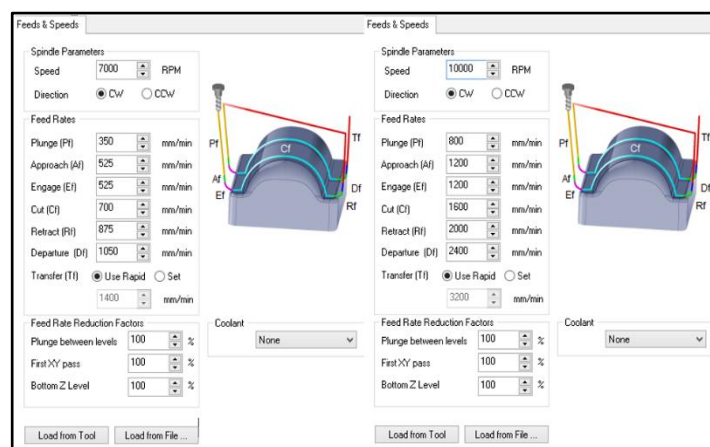


Figura 70-2. Configuración de velocidad de acabado Corona

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022

De las figuras presentadas se observa que la operación de desbaste posee una velocidad de husillo de 800 rpm para la fresa de 20 mm y 1600 rpm para la fresa de 10 mm, siendo la menor pues al ser un desbaste es necesario cuidar que el material no sea afectado por el paso del herramental, de manera que el proceso de acabado defina mejor los detalles del componente. Asimismo, los procesos de acabado poseen velocidades que superan al desbaste, esto se debe a que el paso del herramental es menor, igual que el diámetro y se requiere perfilar los dientes de la corona, adquiriendo las dimensiones requeridas.

Una vez establecidas las velocidades, se procede a la configuración del paso del herramental, el inicio y salida del mismo, esto debe hacerse para cada proceso, pues la herramienta seguirá un camino distinto, en el caso del semi acabado y acabado de los dientes.

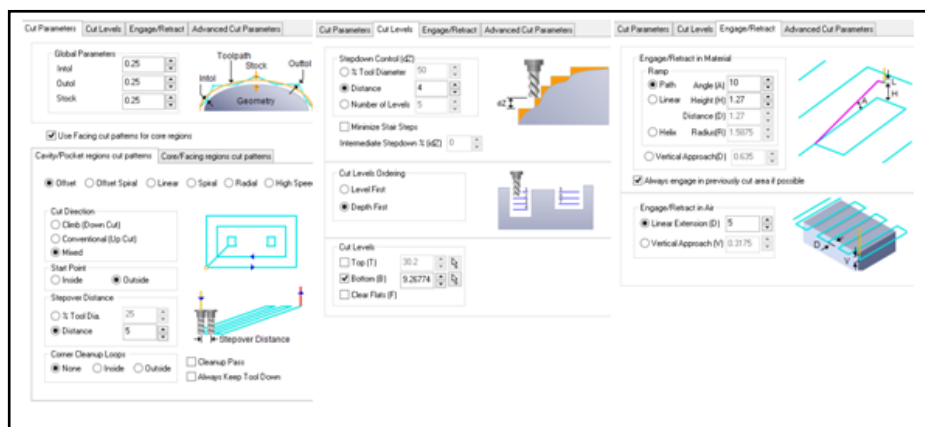


Figura 71-2. Configuración paso de desbaste corona

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Nótese que, para el caso del desbaste, la profundidad que realiza el herramental con cada pasada es de 4 milímetro. Este valor es muy distinto a las operaciones de acabado.

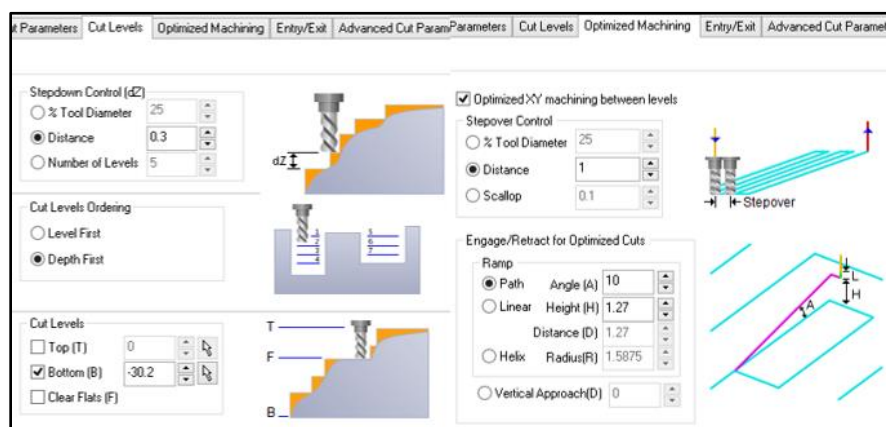


Figura 72-2. Configuración de paso de semi acabado Corona

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 72-2, el paso de perfilado es de 1 milímetro, esto de manera que realice los detalles de la corona. El siguiente proceso es el acabado de los dientes.

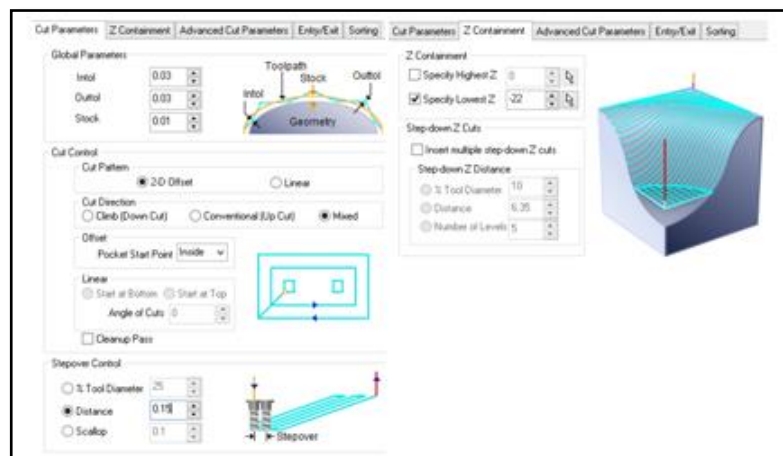


Figura 73-2. Configuración paso de acabado Corona DMAX

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Nótese que la operación de acabado es distinta a los demás procesos, pues la misma realiza la curvatura de los dientes de acuerdo a la geometría que posee el componente.

De todo el proceso de mecanizado, se realiza una simulación del mismo, obteniendo un producto final como se observa en la Figura 74-2.

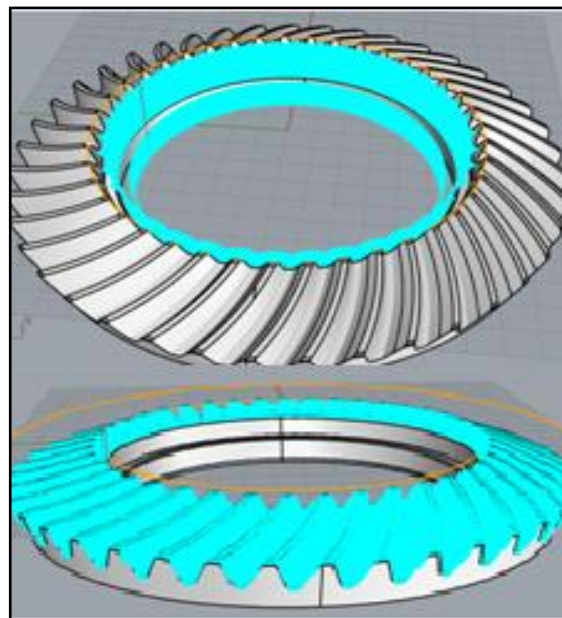


Figura 74-2. Producto final Corona DMAX

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Una vez terminada la corona, se deben realizar los agujeros de la misma ubicados en la parte inferior, de forma que se emplea un Taladrado (Drill). Esto se detalla en la Figura 75-2.

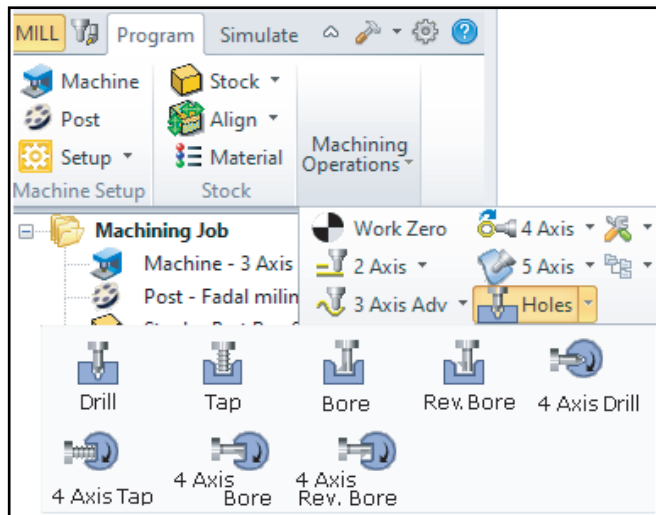


Figura 75-2. Taladrado en corona

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Asimismo, se debe configurar el herramental para el taladrado, partiendo de un diámetro pequeño hacia el diámetro deseado. Esto se observa en la Figura 76-2.

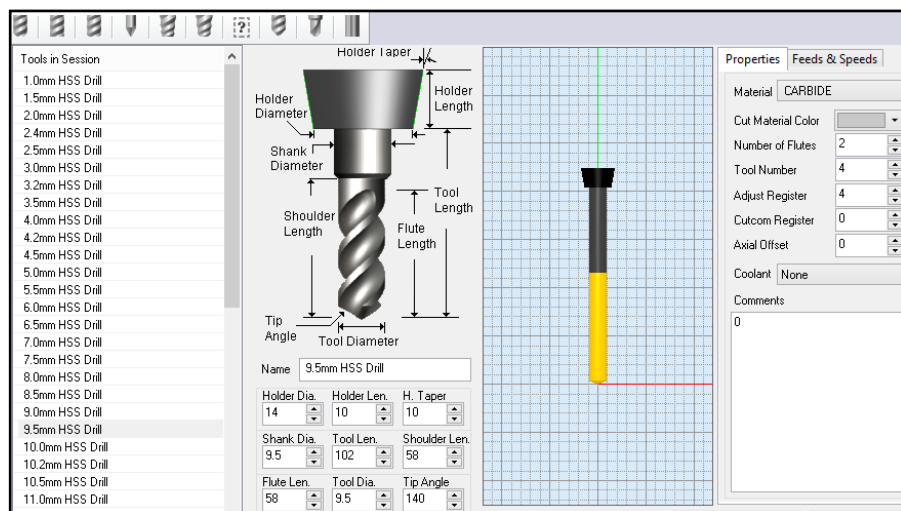


Figura 76-2. Herramental para Taladrado en corona

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Además, debe configurarse la velocidad para el herramental al igual que el paso o profundidad que realizan. Esto se observa en la Figura 77-2.

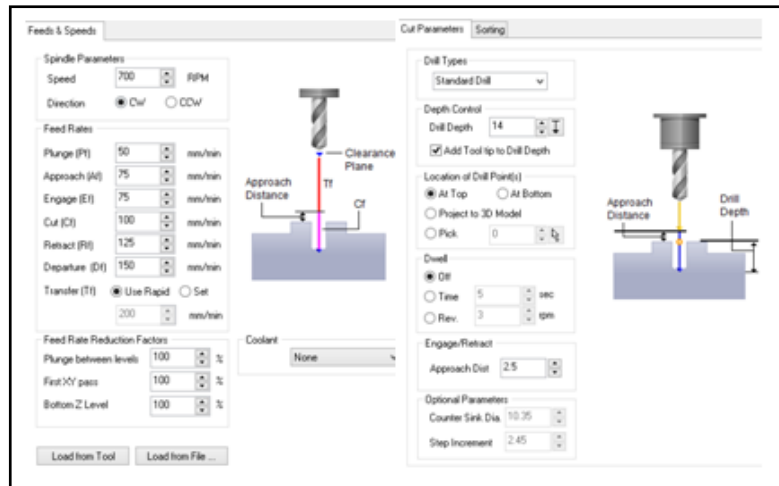


Figura 77-2. Velocidad de corte y profundidad para Taladrado en corona
Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

La profundidad a alcanzar es de 14 mm con una velocidad de avance de 100 mm/min. Terminado este proceso de mecanizado, se procede con la generación del Cono DMAX.

2.2.6.3. Maquinado de Cono (DMAX)

Como en el proceso anterior, empleando el software CAM se selecciona la opción Fresa (Mill) y se procede con la selección de material y el tipo de máquina a emplear. Debido a la complejidad del componente, debe optarse por un sistema de 4 ejes, hecho esto se procede a la selección de material, de manera que el software emplea las velocidades correctas basadas en el material, esto se observa en la Figura 79-2.

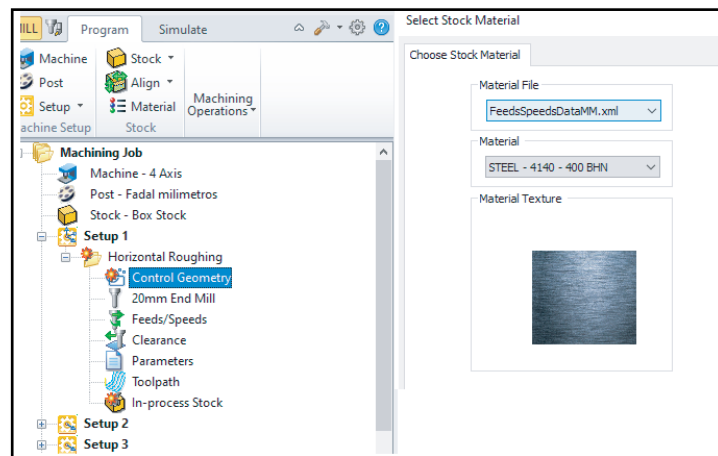


Figura 78-2. Configuración como DMAX
Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Como se observa en la Figura 78-2, el material a emplear es el Acero Aisi 4140, de manera que las velocidades a emplear se basen en el mismo. Una vez configurado el proceso, se realiza la

configuración del herramental a emplear en este componente, la Tabla 8-2, resume los herramientas a emplear.

Tabla 8-2: Herramental y proceso para Cono DMAX

Proceso	Herramental a emplear
Desbaste	Fresa de 10 mm End Mill
Semi acabado	Fresa de 4 mm End Mill
Acabado	Fresa de 2 mm Ballnose
	Fresa de 1 mm Ballnose

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

De lo observado en la Tabla 8-2, se planea emplear 4 herramientas, 1 para desbaste, 2 para acabado y 1 para semi acabado de los dientes; nótese que se prevé emplear el mismo herramental previamente usado en el proceso anterior, sin embargo, se cambia los procesos en los cuales se empleaba el herramental. Hecho esto, se configura en el programa de acuerdo al proceso a realizar, esto se observa en la Figura 79-2, 80-2 y 81-2.

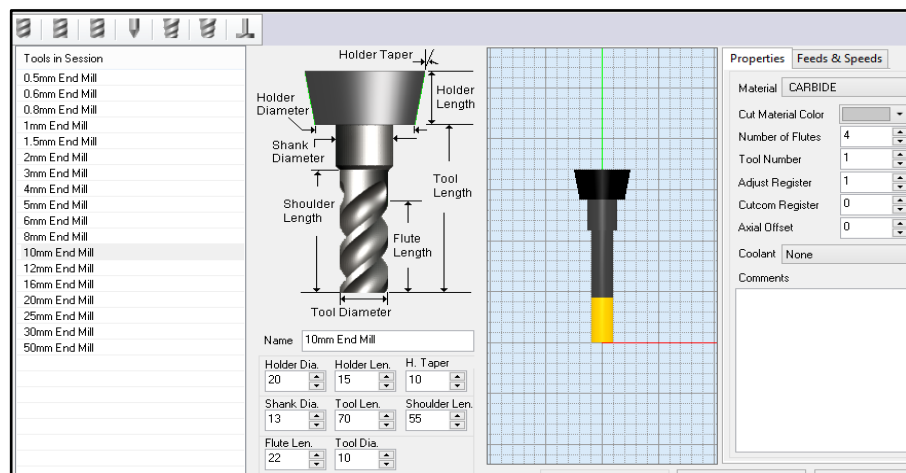


Figura 79-2. Herramental para desbaste cono

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

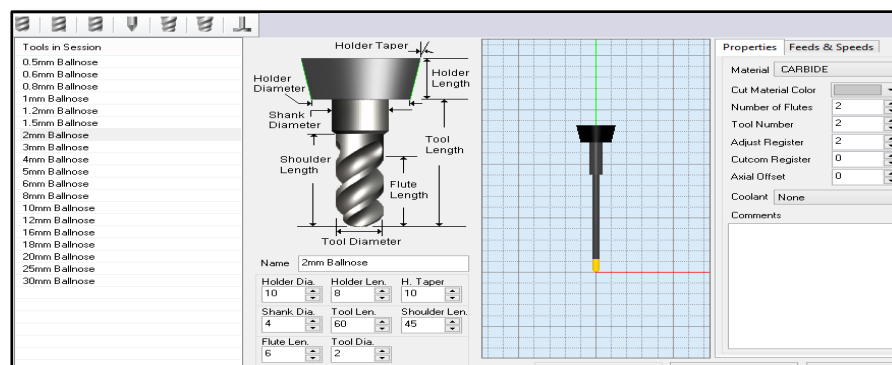


Figura 80-2. Herramental para semi acabado cono

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

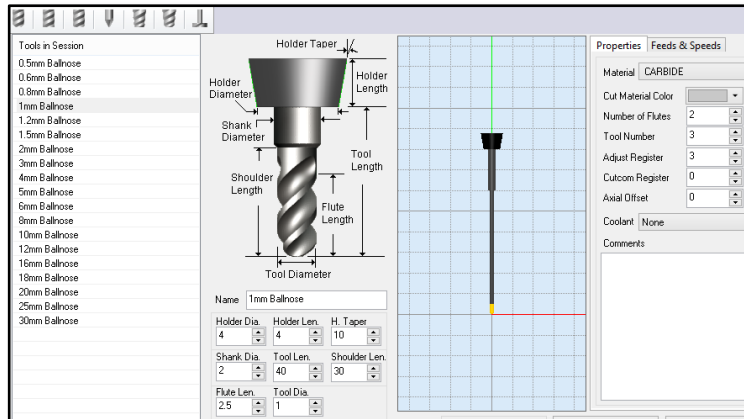


Figura 81-2. Herramental para acabado cono
Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Establecido el herramental, se configura las velocidades de trabajo del proceso. Nótese que como en el proceso anterior, las velocidades son distintas para cada subproceso a realizar (desbaste, semi acabado y acabado). Las mismas se detallan a continuación:

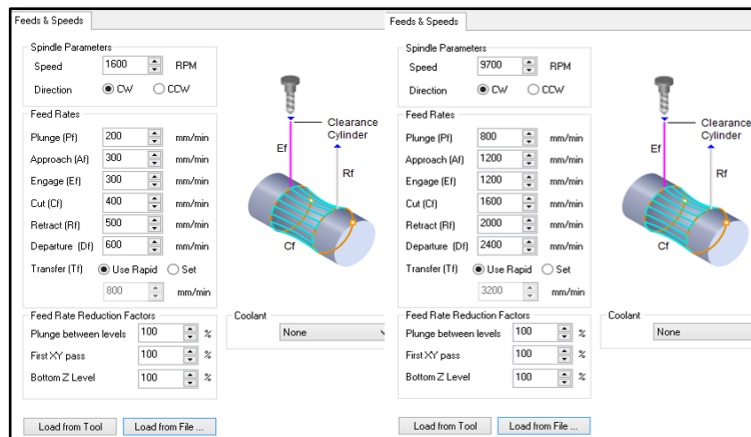


Figura 82-2. Velocidades de desbaste y semi acabado
Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

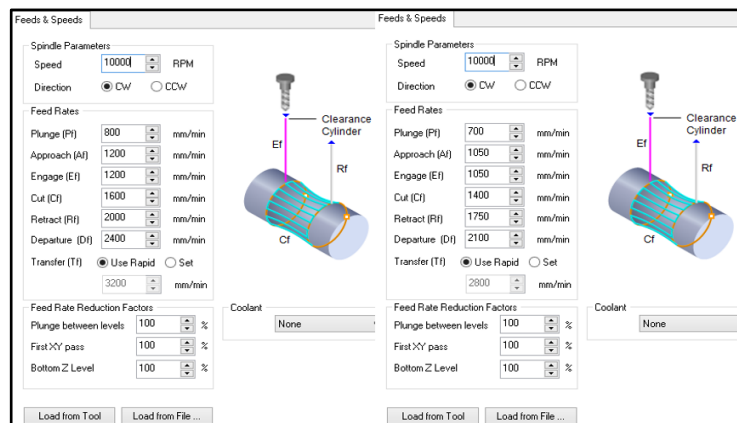


Figura 83-2. Velocidad de corte para acabado cono
Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Establecidas las velocidades de trabajo, es necesario establecer cada subprocesso a realizar. Esto se detalla a continuación:

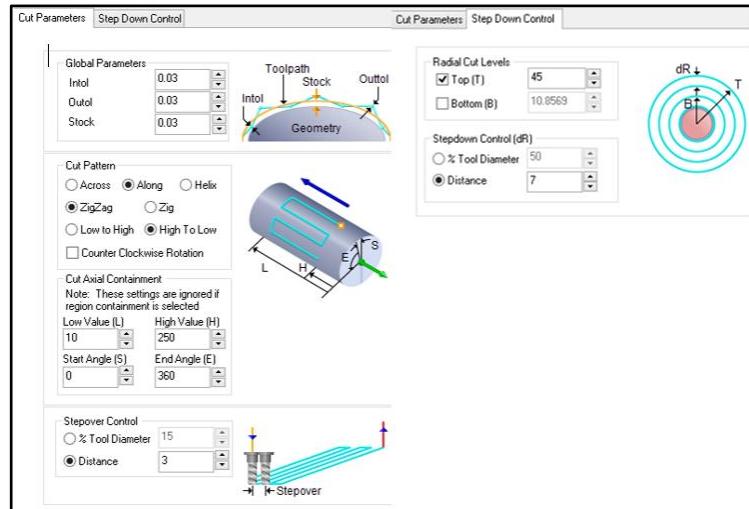


Figura 84-2. Configuración de paso de desbaste Cono
Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En el caso de desbaste, el paso es de 3 milímetros, pues el herramental debe establecer la geometría del componente, de manera que el semi acabado y acabado sirvan para dar el detalle final al mismo.

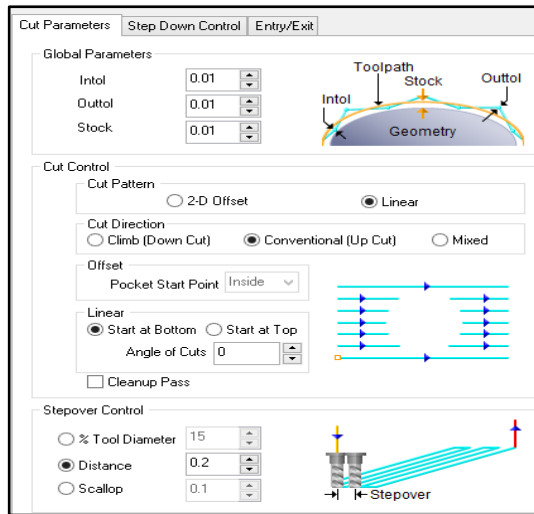


Figura 85-2. Configuración de paso de semi acabado cono
Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Para el semi acabado, el paso pasa a ser de 0.2 milímetros, pues el herramental brinda los detalles del componente, de forma que se ajusten a las medidas del mismo. A su vez, permite que el acabado de los dientes sea más efectivo al momento de realizarse.

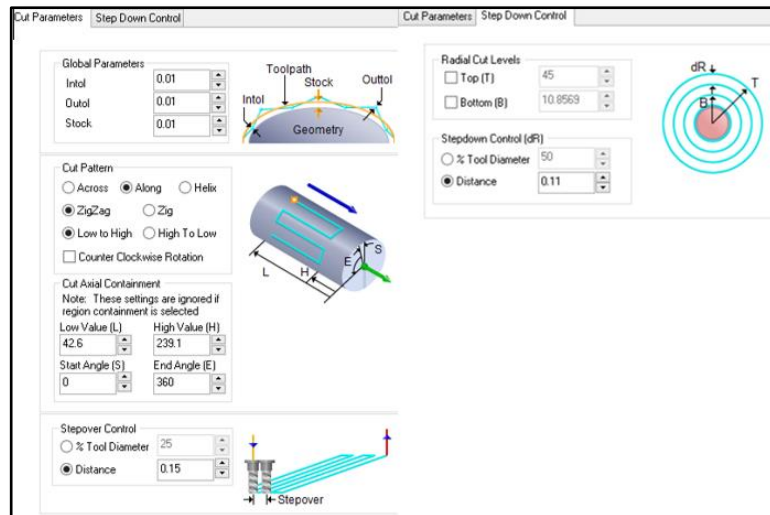


Figura 86-2. Configuración de paso de acabado como

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Nótese que en la Figura 86-2, se configura el acabado para el mango y diente de acuerdo a las curvaturas que presenta el componente, y se ajuste a las medidas correctas del mismo. Este subproceso se realiza al final pues los demás subprocesos ya definieron en gran parte la geometría en cuestión.

De igual manera, debe realizarse el acabado para el roscado con una fresa de 1 mm; los parámetros de dichos procesos se detallan en las Figuras 87-2.

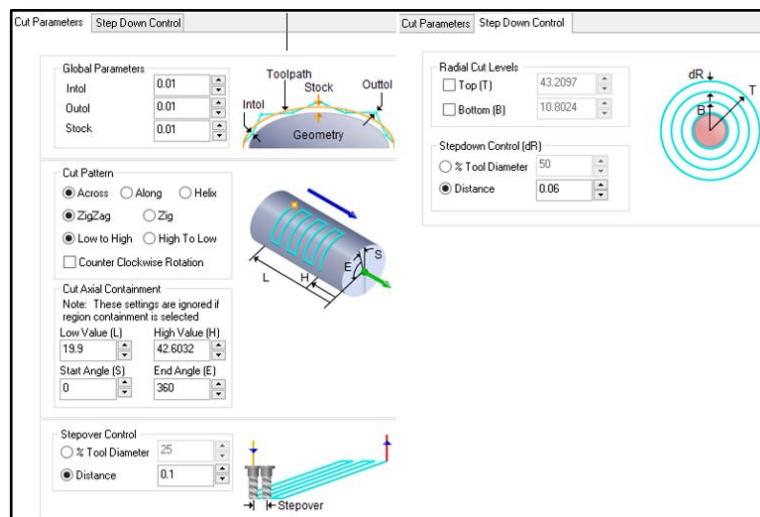


Figura 87-2. Configuración del paso para el roscado Cono

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

La Figura 88-2, expone el producto final del proceso de maquinado del cono de forma que el componente cumpla con las medidas y geometrías importadas.

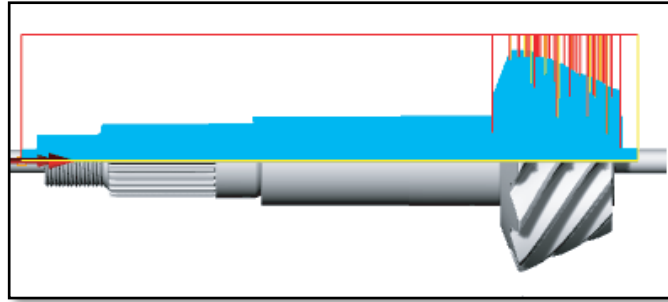


Figura 88-2. Producto final Cono DMAX

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

2.2.6.4. Generación del código G

Finalmente, una vez ha sido comprobado todo mediante la simulación de las operaciones de mecanizado, se realiza el post-procesamiento para la generación del código G. Para esta operación, el archivo debe exportarse de acuerdo al procesador a emplearse, que en ambos casos será Fanuc.

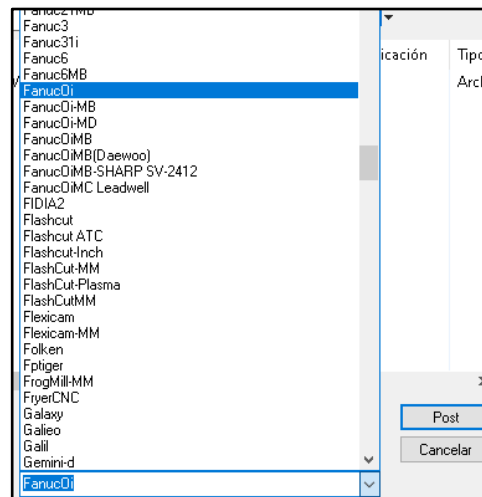


Figura 89-2. Generación de Código

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

El archivo obtenido posee formato .txt que puede ser visualizado mediante el bloc de notas para revisar las líneas de la programación del código G (ver [Figura 90-2](#)). De acuerdo con Valverde (2019, pp.118-124), este archivo puede ser guardado con cualquier nombre, con la finalidad que pueda ser exportado en una USB y ejecutado por el equipo CNC. Mismo que permite realizar las operaciones para la obtención física del producto.

```
change.log new 1
4897278 N4897277X-1.04Y2.009
4897279 N4897278X-1.007Y2.027
4897280 N4897279X-0.957Y2.05
4897281 N4897280X-0.901Y2.076
4897282 N4897281X-0.851Y2.081
4897283 N4897282X-0.857Y2.094
4897284 N4897283X-0.757Y2.133
4897285 N4897284X-0.724Y2.144
4897286 N4897285X-0.624Y2.176
4897287 N4897286X-0.607Y2.181
4897288 N4897287X-0.491Y2.21
4897289 N4897288X-0.474Y2.214
4897290 N4897289X-0.357Y2.236
4897291 N4897290X-0.341Y2.238
4897292 N4897291X-0.224Y2.253
4897293 N4897292X-0.191Y2.256
4897294 N4897293X-0.074Y2.263
4897295 N4897294X-0.041Y2.264
4897296 N4897295X0.059
4897297 N4897296X0.076Y2.263
4897298 N4897297X0.209Y2.255
4897299 N4897298X0.226Y2.253
4897300 N4897299X0.343Y2.239
4897301 N4897300X0.359Y2.236
4897302 N4897301X0.476Y2.214
4897303 N4897302X0.484Y2.212
4897304 N4897303G0Z0.394
4897305 N4897304G91G28Z.0
4897306 N4897305G90
4897307 N4897306M2
4897308 %
4897309
```

Figura 90-2. Código G corona D-Max

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Los Anexos E, F, G y H especifican las líneas de código G de los componentes, los cuales se obtuvieron mediante el software CAM y las condiciones previamente establecidas.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS

En esta sección se mostrarán los resultados obtenidos en cada una de las etapas de la metodología definida en la sección 2.1.

3.1. Validación del modelado 3D

Posterior al escaneo 3D y su post-procesamiento, fue realizada la reconstrucción del modelo empleando la técnica de modelado sólido. Finalmente, con la combinación de medidas obtenidas por SolidWorks y de manera real, se obtuvo la geometría mostrada en la Figura 31-2. La geometría obtenida se valida mediante el cálculo del error existente al comparar las dimensiones del objeto real y del modelado 3D, como se muestran en las Tablas 1-3, 2-3, 3-3 y 4-3.

Tabla 1-3: Cuadro comparativo Corona D-Max

Parámetro	Real [mm]	Modelo 3D [mm]	% Error
Diámetro exterior	215,40	212,01	1,57
Diámetro interior	141,00	137,60	2,41
Altura total	30,00	29,94	0,20
Longitud del diente	32,00	31,69	0,97
Altura del diente	10,00	9,51	4,90
Diámetro base	198,80	193,49	2,67
Espesor de cresta	2,70	2,46	8,89

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Tabla 2-3: Cuadro comparativo Cono D-Max

Parámetro	Real [mm]	Modelo 3D [mm]	% Error
Diámetro exterior 1	57,00	55,56	2,53
Diámetro base 1	43,00	40,88	4,93
Diámetro exterior 2	83,00	86,68	4,43
Diámetro base 2	63,00	69,23	9,89
Altura del diente	10,00	9,10	9,00
Longitud del diente	38,00	36,12	4,95
Espesor de cresta	2,40	2,28	5,00

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

De lo observado en las Tablas 1-3 y 2-3, correspondientes al conjunto D-MAX se tiene un error máximo de 8.9% (0.24 mm) en el caso de la corona, y de 9.89% (6.23 mm) en el caso del cono. Estos valores, pese a ser cercanos al 10%, no representan un gran cambio en la geometría del

modelo, que es corregible mediante el maquinado de los componentes del conjunto previamente mencionado.

Tabla 3-3: Cuadro comparativo Corona Wingle

Parámetro	Real [mm]	Modelo 3D [mm]	% Error
Diámetro exterior	204,60	200,95	1,78
Diámetro interior	126,00	125,00	0,79
Altura total	31,00	28,75	7,26
Longitud del diente	32,00	32,73	2,28
Altura del diente	10,00	9,58	4,20
Diámetro base	186,60	187,56	0,51
Espesor de cresta	2,70	2,55	5,56

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Tabla 4-3: Cuadro comparativo Cono Wingle

Parámetro	Real [mm]	Modelo 3D [mm]	% Error
Diámetro exterior 1	54,00	52,52	2,74
Diámetro base 1	42,00	38,56	8,19
Diámetro exterior 2	83,00	88,00	6,02
Diámetro base 2	65,00	70,72	8,80
Altura del diente	9,00	8,64	4,00
Longitud del diente	42,00	42,77	1,83
Espesor de cresta	2,50	2,49	0,40

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

De acuerdo a las Tabla 3-3 y 4-3, el valor máximo de error en el caso de la corona es de 7.26% (2.25 mm) y 8.8% (5.72 mm) en el caso del cono, ambos componentes pertenecientes al conjunto Wingle. De esto, los márgenes de error no alcanzan el 10%, y de acuerdo con Reyes & Cifuentes (2018, p.5), el porcentaje máximo de variación permisible entre las dimensiones del objeto real y el modelado 3D es del 10%; de forma que los resultados obtenidos permiten afirmar que la geometría generada mediante el proceso de reconstrucción es válida.

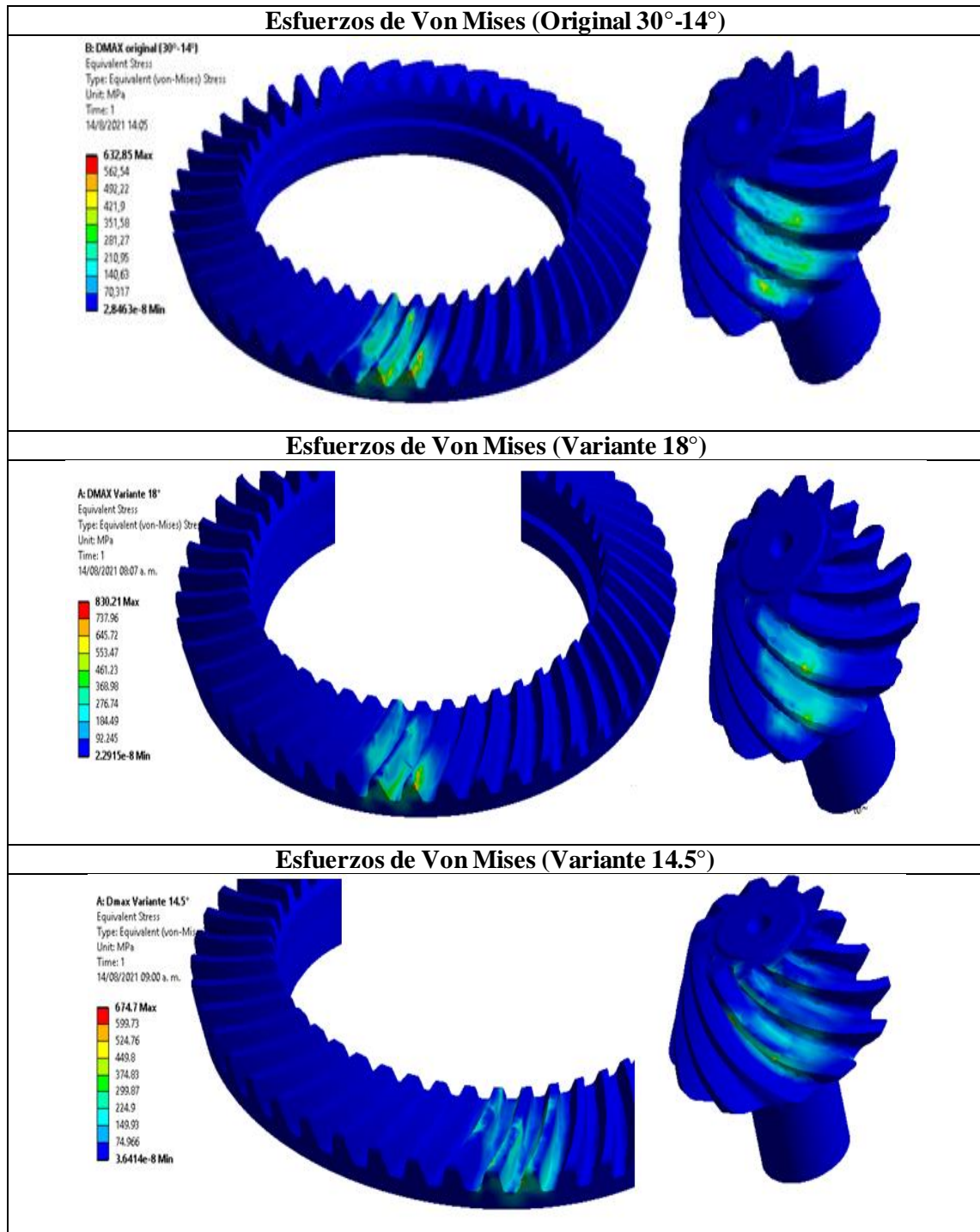
3.2. Simulación de cargas en el sistema cono-corona D-Max y Wingle

Una vez definido el modelo 3D óptimo se llevó a cabo el proceso de simulación para cada una de las variaciones del ángulo de diente especificados en la sección 2.2.5.1, siguiendo los pasos establecidos en la metodología. Los resultados obtenidos para D-MAX se muestran en las Tabla 5-3, Tabla 6-3 y Tabla 7-3.

Se realizó la simulación de las tres variaciones del ángulo de inclinación y sus resultados obtenidos mediante el programa ANSYS se presentan a continuación, esto para el conjunto de cono y corona D-Max partiendo de su configuración real de 30°-14° para ángulo de dientes. Para

tener una mejor visualización de la simulación se tiene una figura en conjunto y por separado con el objetivo de observar las zonas de esfuerzos, deformación, vida útil y factor de seguridad, representados en una paleta de colores en donde se especifica el rango de valores de cada variable.

Tabla 5-3: Resultados sobre Esfuerzos de Von Mises para cono y corona D-Max

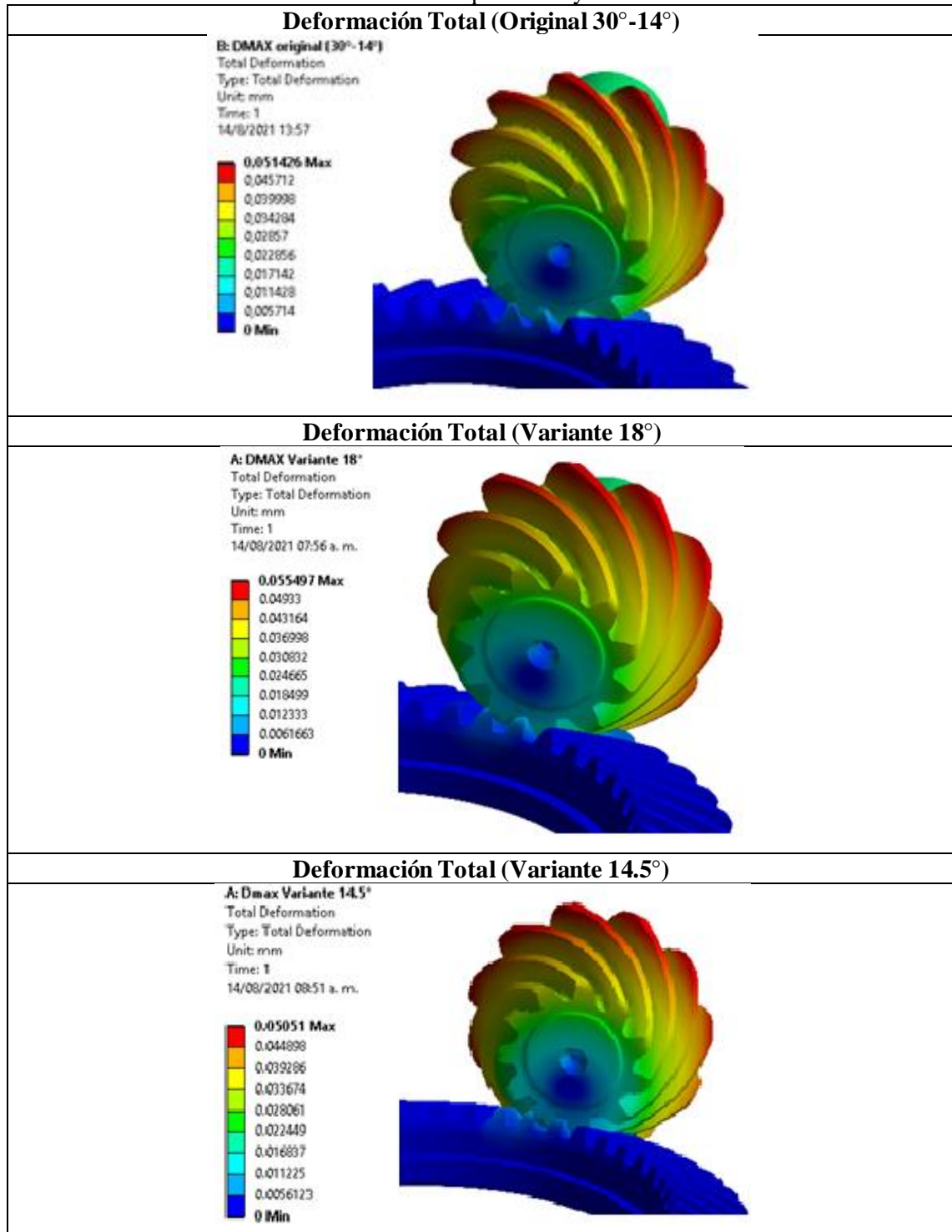


Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En las figuras mostradas, los esfuerzos máximos van desde 632.85 y 830.21 MPa, y las zonas de principal afectación son las zonas de contacto entre los dientes del cono y la corona. Nótese que

el esfuerzo predominante varía entre 212 y 276 MPa, esto determina que las deformaciones encontradas son de carácter elástico, ya que los esfuerzos no sobrepasan el límite de fluencia del material AISI 4140 Recalentado, dando por entendido que el material escogido es el correcto.

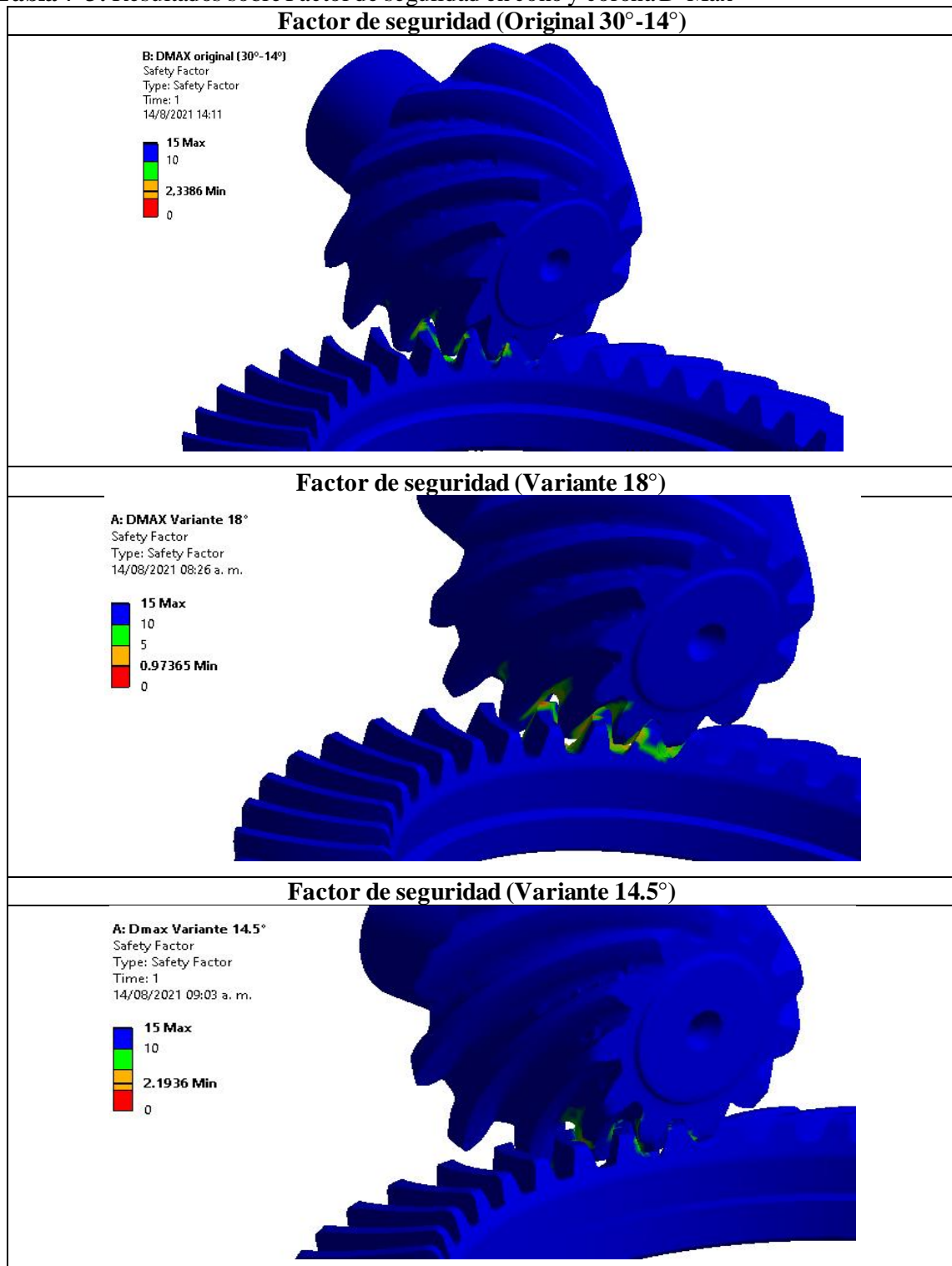
Tabla 6-3: Resultados sobre Deformación total para cono y corona D-Max



Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

De acuerdo a las figuras presentadas, se observa que la deformación máxima presente en los dientes en promedio es de 0.05 milímetros, ubicada principalmente en la zona exterior del cono. De ahí nótese que los dientes de la corona poseen una deformación de 0.01 milímetros.

Tabla 7-3: Resultados sobre Factor de seguridad en cono y corona D-Max



Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

De esto, los valores de seguridad fueron de 15, lo cual especifica que el cono y la corona resistirían hasta 15 veces la carga antes de presentar una falla. También que existe un valor de 2.33 ubicado en las zonas de contacto entre los dientes, lo que denota que el momento aplicado no debe exceder de 2 veces su valor, ya que el mismo puede ocasionar una falla del material. Cabe recalcar que la variante 18° D-MAX, posee un valor de 0.9736, esto es crítico al momento de aplicar la carga.

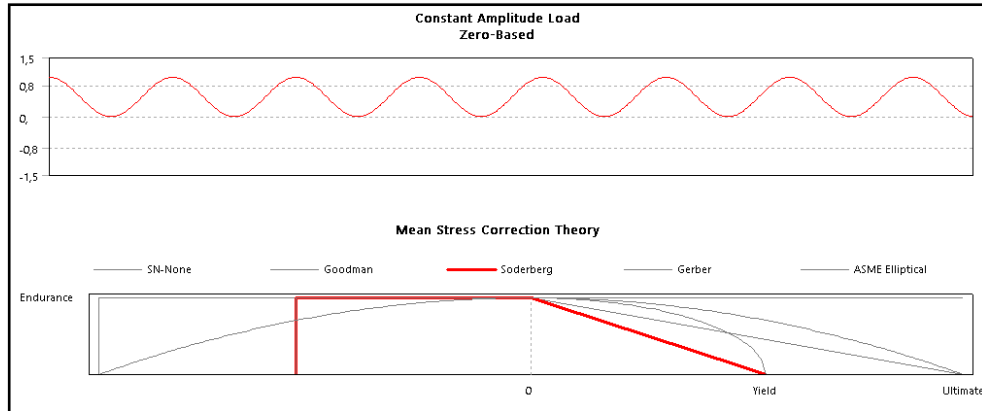


Gráfico 1-3. Esfuerzos variables en el tiempo en cono y corona D-MAX.

Realizado por: Rivera, E; Toapanta, M., 2022.

De acuerdo al Gráfico 1-3, el cono y corona estarán sometidos a un valor de carga repetido con el tiempo, pues la misma no toma un valor negativo, de manera que el ciclo de vida de los componentes deberá basarse en dichas cargas. Esto se observa en la figura a continuación:

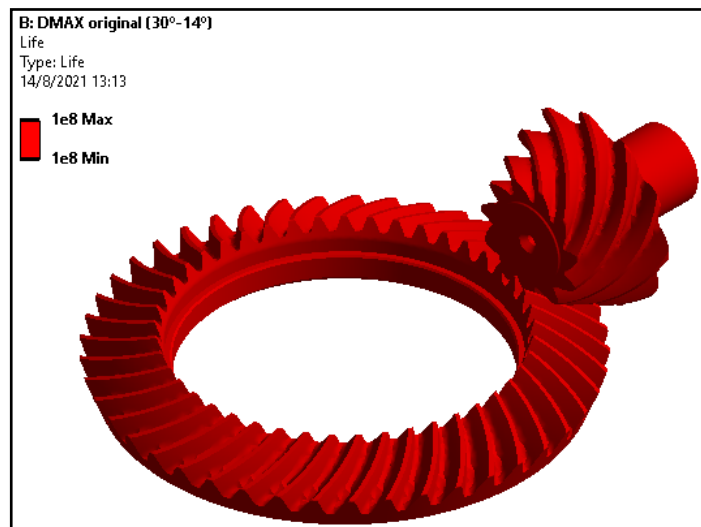


Figura 1-3. Ciclo de vida en cono y corona DMAX.

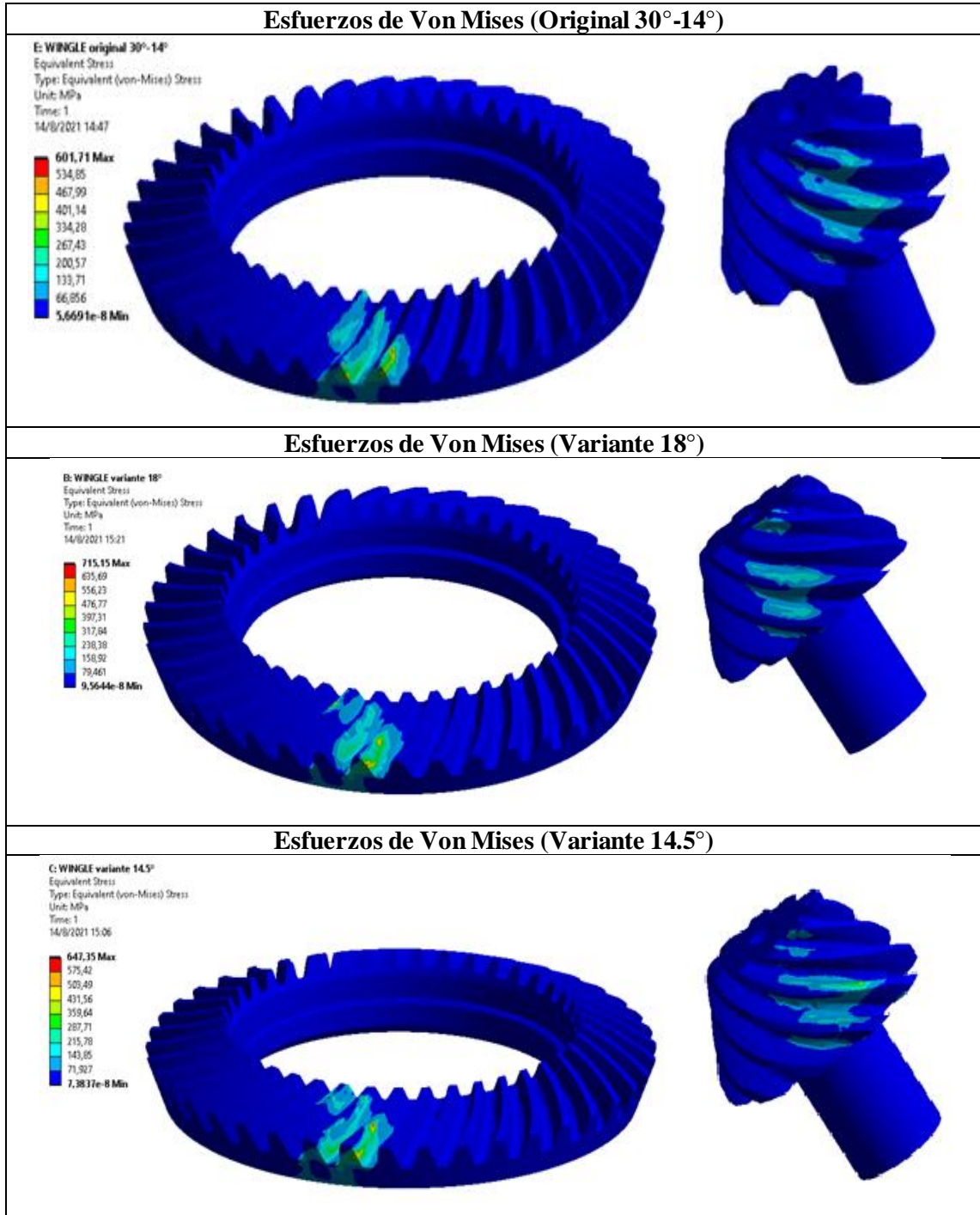
Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

De lo observado en la Figura 1-3, el diseño y material empleados determina que la vida de los componentes es de $1e8$ ciclos, esto de acuerdo al criterio de Soderberg pues se emplea como principal factor el esfuerzo de fluencia del material y las cargas que se encuentran en los

componentes, determinando que poseen “Vida infinita” pues el valor denota larga duración de vida de los mismos.

Analizados los resultados del cono y corona DMAX, se procede con los resultados obtenidos en la configuración Wingle, esto se observa en la Tabla 8-3, Tabla 9-3 y Tabla 10-3.

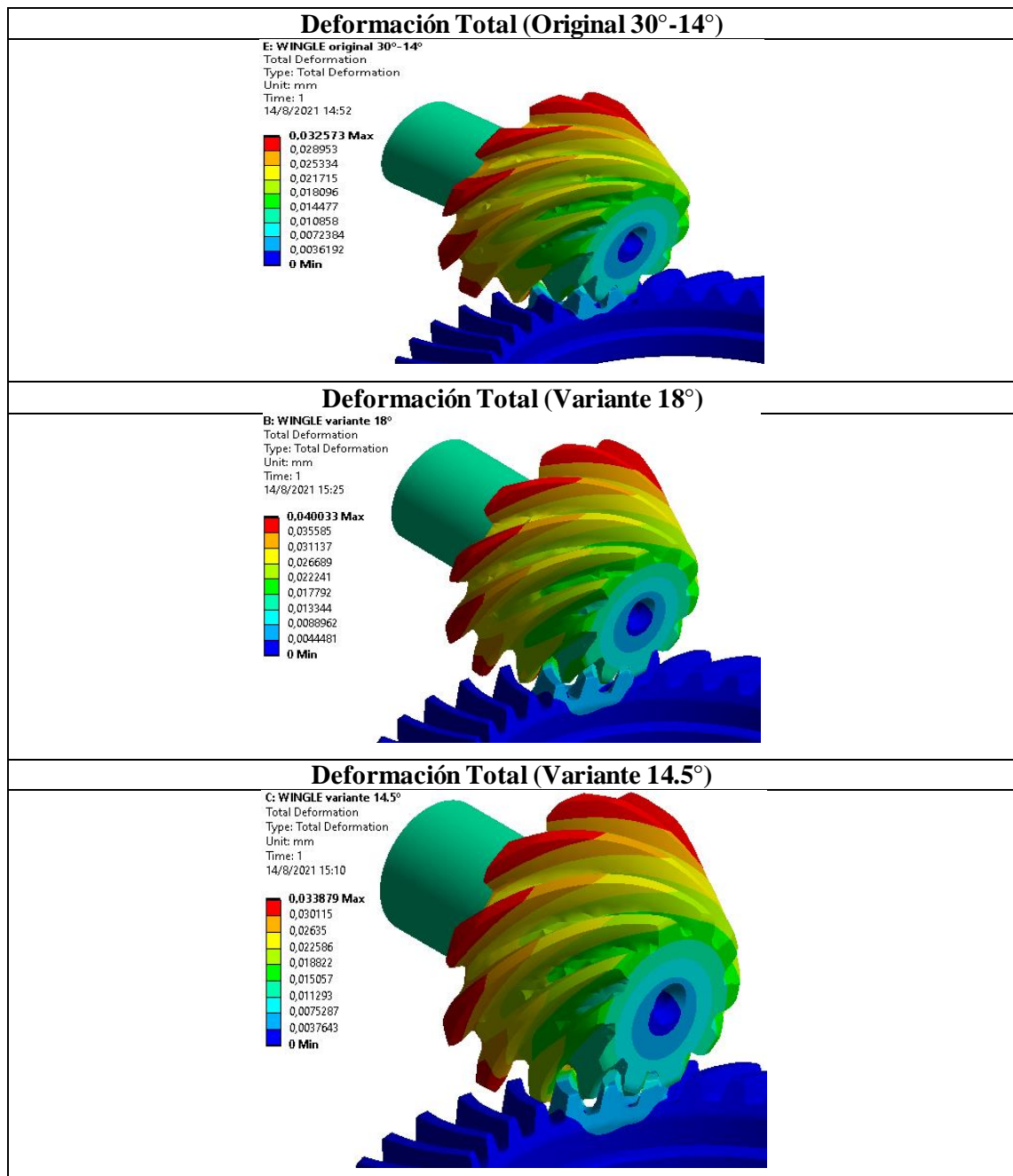
Tabla 8-3: Resultados sobre Esfuerzos de Von Mises en cono y corona Wingle



Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Los esfuerzos presentes en el cono y la corona registran los valores máximos de 601.71 y 715.15 MPa, siendo este último correspondiente a la variante de 18°. También que la mayor parte de los esfuerzos se localizan en la zona de contacto entre los dientes, tomando los valores que van desde 200 hasta 238 MPa, de manera que los componentes se encuentran interactuando en la zona elástica del material, determinando que las deformaciones previamente tratadas son de carácter elástico y no afectan al funcionamiento del sistema.

Tabla 9-3: Resultados sobre Deformación total en cono y corona Wingle

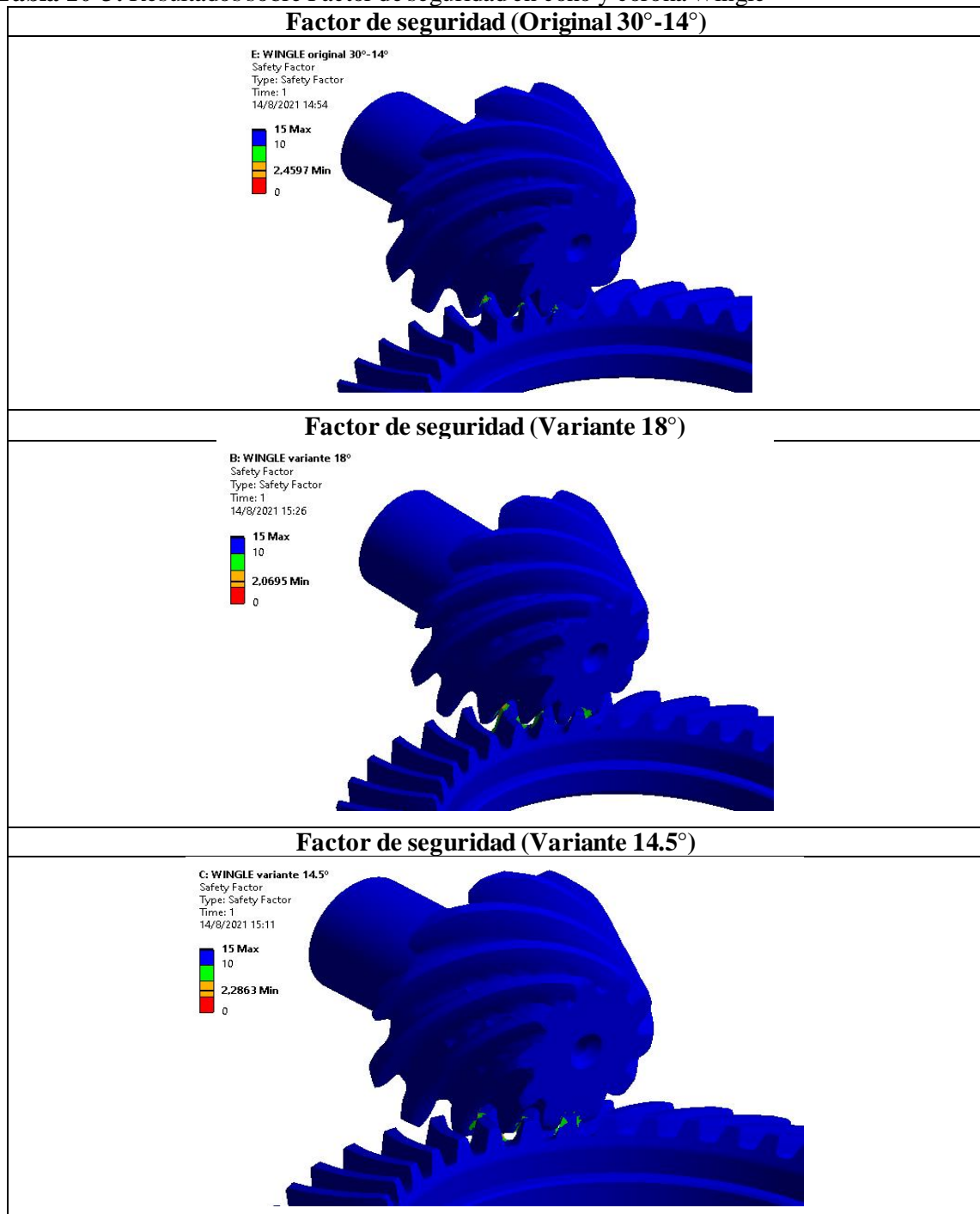


Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En las figuras presentadas se observa que las deformaciones máximas halladas van desde 0.032 a 0.04 milímetros, siendo esta última cuando el ángulo es de 18°. Las deformaciones en la corona

son en su mayoría de 0.01 milímetros, apreciadas en las zonas de contacto entre los dientes del cono y la corona. Estas deformaciones son minúsculas y no interfieren en el accionar de los componentes.

Tabla 10-3: Resultados sobre Factor de seguridad en cono y corona Wingle



Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Como se observa en las figuras, el factor de seguridad del cono y la corona Wingle es de 15 como su valor máximo, sin embargo, existe un valor de 2.45 que denota que la carga aplicada no debe

exceder del doble de la misma, dado que puede ocasionar una falla del material al momento de aplicar dicha carga.

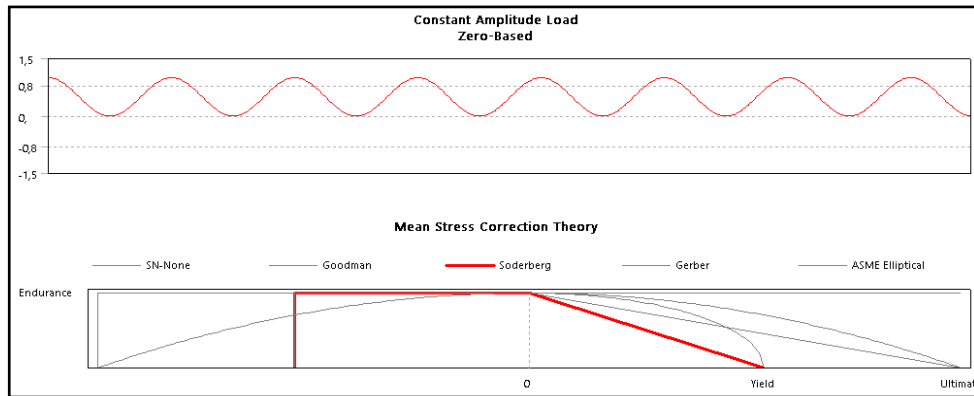


Gráfico 2-3. Esfuerzos variables en el tiempo en cono y corona Wingle

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M. 2021.

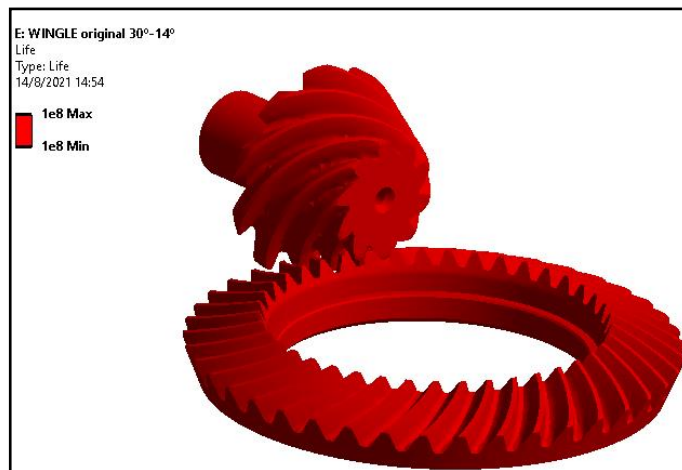


Figura 2-3. Ciclo de vida en cono y corona Wingle.

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M. 2021.

En las figuras mostradas se observa que presentan un comportamiento similar al cono y corona D-MAX, nótese que las cargas son repetitivas y el número de ciclos es de $1e8$, denotando que posee una larga duración antes de realizar un reemplazo de los componentes.

3.3. Generación código G

Finalmente, a partir del modelo 3D generado en SolidWorks mediante el uso del software CAM empleado se determinan las actividades necesarias para la fabricación del cono y corona.

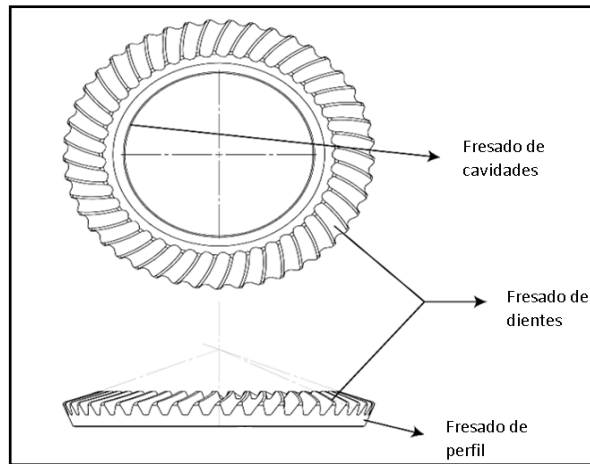


Figura 3-3. Actividades de maquinado en la corona

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Figura 3-3, se observan las operaciones que se realizaron en la corona del conjunto Dmax y Wingle, como son el fresado de cavidades, el perfilado de los dientes y las perforaciones de los agujeros. En la corona D-max se inició con las operaciones de desbaste empleando un herramental de 20 y 10 milímetros, de manera que realice la forma geométrica del componente en el menor tiempo posible. De esto se tiene alrededor de 1620 líneas de códigos en la parte inferior de la corona, 816 líneas de código para el fresado de la cavidad interior y 5549 líneas de código perteneciente a la parte superior.

En la Figura 4-3, las primeras líneas de código contienen todas las instrucciones que preparan a la máquina para su operación tales como las unidades de trabajo, llamada de la primera herramienta. Las siguientes líneas pertenecen a la remoción del material en el cual, contiene las velocidades y movimiento de corte, circulares, lineales, movimientos rápidos, y las últimas líneas contienen los códigos que desactivan las operaciones que fueron activados desde la fase de inicio. Cuando terminan las operaciones de la primera herramienta el programa llama al cambio de herramienta con su régimen de corte correspondiente, luego siguen los puntos en el espacio para guiar la herramienta; el proceso se repite para cada cambio de herramienta.

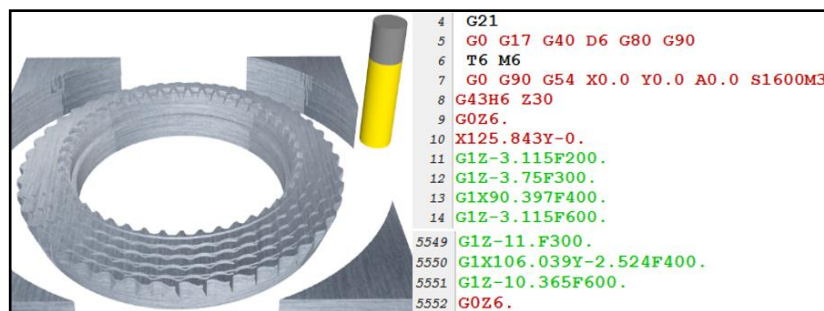


Figura 4-3. Desbaste superior corona D-max

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Terminado este proceso, se realiza un acabado y perfilado a la parte posterior de la corona empleando un herramental de 6 milímetros, y a su vez generándose un total de 52670 líneas de código como se muestra en la Figura 5-3.

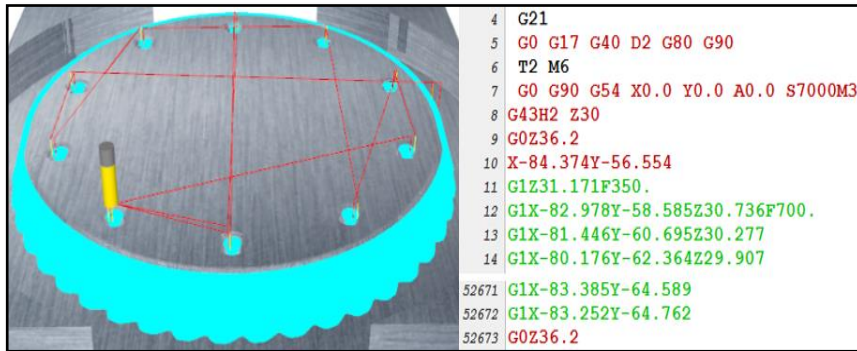


Figura 5-3. Acabado posterior corona D-max

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Finalmente se realiza un acabado de la parte superior de la corona como se muestra en la Figura 6-3, para generar la forma de los dientes y que los mismos adquieran las dimensiones requeridas como son el paso, la altura y la raíz empleando un herramental de 2 mm, esto con la finalidad de eliminar algún residuo que pudo ser omitido durante el proceso. La cantidad de líneas de código generadas de este proceso fue de 447299.

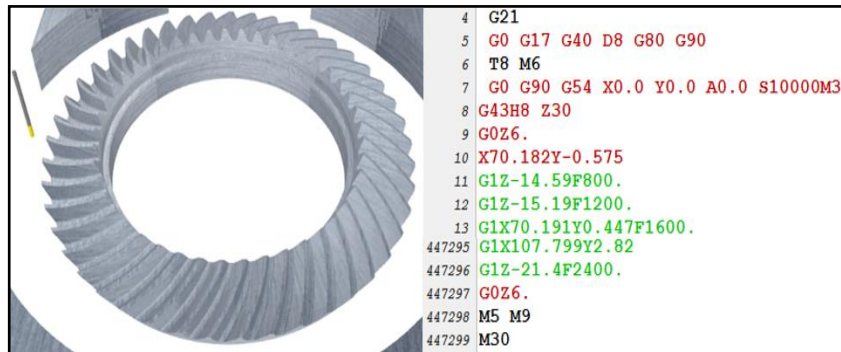


Figura 6-3. Acabado superior corona D-max

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

De esto, los procesos de acabado de los dientes poseen la mayor cantidad de líneas de códigos generados, esto debido a los herramentales empleados y las profundidades de paso de los mismos. La Figura 7-3, detalla las operaciones efectuadas en los conos de ambos conjuntos.

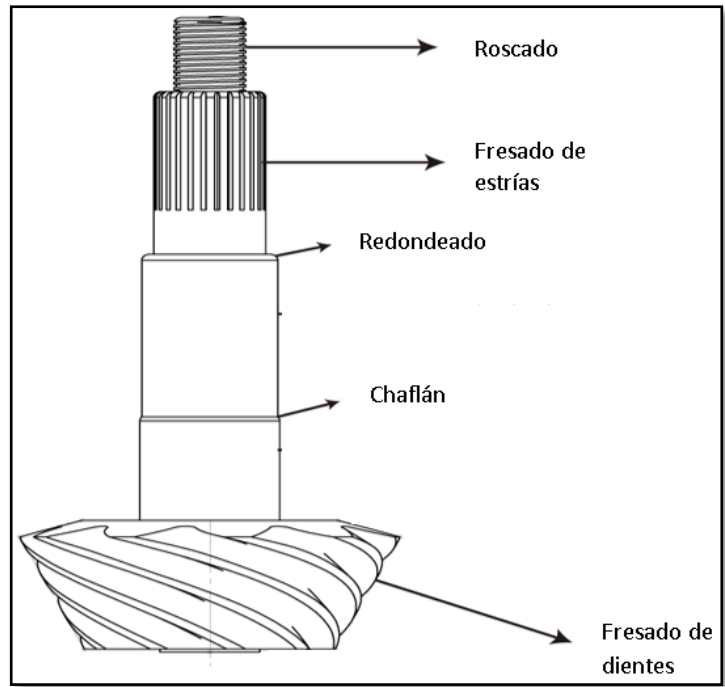


Figura 7-3. Actividades de Maquinado del cono

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Nótese que las operaciones que se realizaron en el cono son mayores comparadas a la corona, esto debido a que posee mayor cantidad de detalles, pues este componente llega ser más complejo. Asimismo, las operaciones efectuadas parten desde el desbaste, en el cual se empleó un herramienta de 10 milímetros, generándose 65906 líneas de código como se muestra en la Figura 8-3. Posterior al desbaste, se realiza un semiacabado y perfilado de los dientes con un herramienta de 2 milímetros, generando 36982 líneas de código perteneciente a dos dientes, ver Figura 9-3, y abarcando alrededor de 207027 líneas de código para todos los dientes del cono.

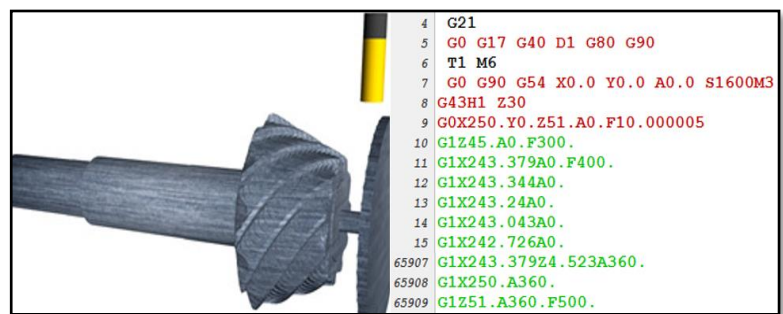


Figura 8-3. Desbaste del cono Dmax

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

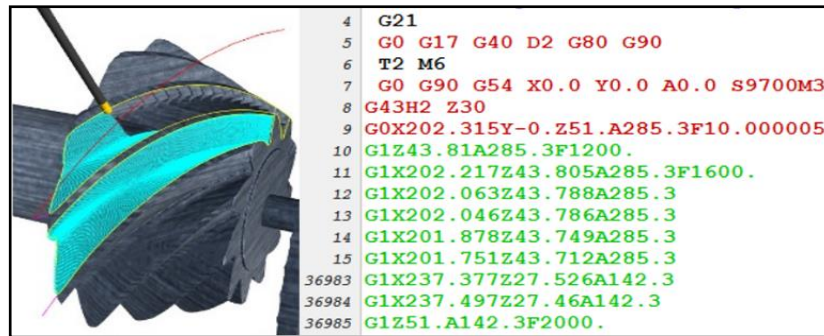


Figura 9-3. Semiacabado y perfilado de los dientes como Dmax

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Una vez terminado el perfilado de los dientes, se procedió con el acabado del cono, junto a los detalles como son el estriado y roscado en el que se empleó un herramental de 2 milímetros para los dientes, mango y estriado y 1 milímetro para el roscado, generándose alrededor de 348985 líneas de código, ver Figura 10-3. Esta cantidad de líneas resulta ser la más alta registrada debido a que contiene los procesos de estriado y roscado, los cuales son importantes ya que son la sujeción del cono.

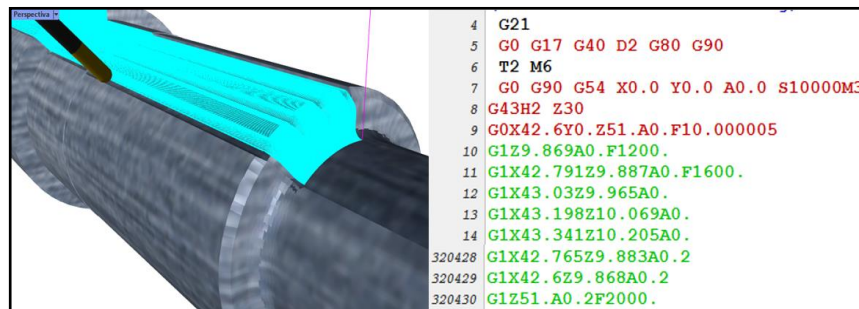


Figura 10-3. Acabado del mango cono Dmax

Realizado por: Rivera, E; Toapanta, M., 2022.

Continuando con el conjunto Wingle podemos notar que las líneas de códigos generados son menores al conjunto Dmax, debido a que posee una menor cantidad de dientes en el cono y corona, representándose una simplificación en sus medidas, como consecuencia se obtuvo un resultado total de 1144393 líneas de código para el conjunto Wingle, traduciéndose en un 3.5%, menor a lo obtenido en el conjunto Dmax.

Igualmente, si comparamos los tiempos de mecanizado entre el conjunto Dmax y Wingle, el conjunto Dmax presentó un mayor tiempo de mecanizado siendo de 863 minutos para el cono y 766 minutos para la corona, mientras que para el cono y corona del conjunto Wingle se obtuvo 812 y 673 minutos respectivamente.

Finalmente, en la Figura 11-3, se presenta una comprobación de códigos realizados en el software Cimco Edit 8 con las respectivas trayectorias que siguieron las herramientas para realizar el

desbaste y acabado. Se puede notar que el acabado y la geometría de la pieza corresponden al resultado requerido.

Al final de todos los procesos, se obtiene el modelo de la corona y el cono junto con las dimensiones que se requieren para el funcionamiento adecuado del conjunto.

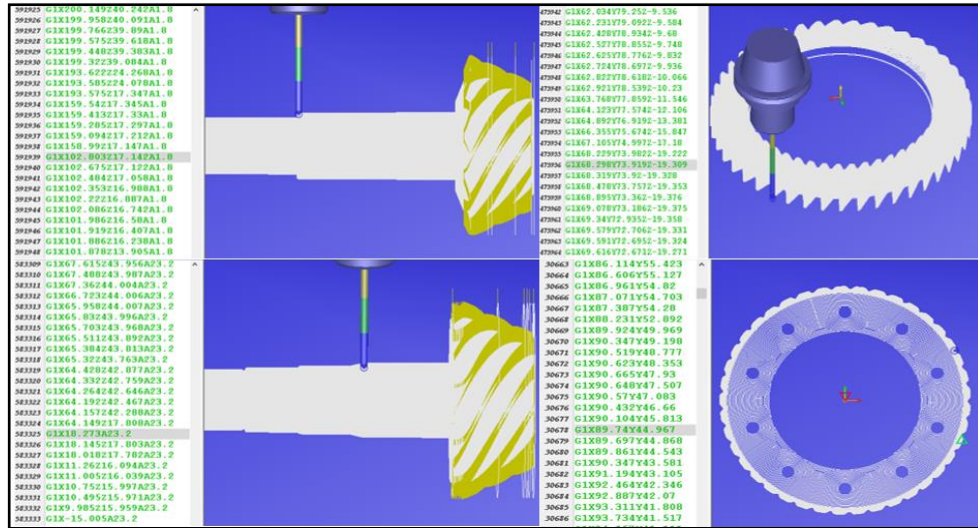


Figura 11-3. Visualización de mecanizado del conjunto D-max (fila superior) y Wingle (fila inferior)

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

3.4. Discusión de los resultados

A partir de los resultados obtenidos mediante las simulaciones se presenta una tabla comparativa para cada conjunto, con el fin de identificar la configuración más óptima.

Tabla 11-3: Comparación de deformación D-MAX vs Wingle

Variante	DMAX	Wingle	Diferencia [mm]
Original	0,0514	0,032573	0,01883
18°	0,0555	0,040033	0,01547
14.5°	0,0505	0,033879	0,01662

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

Como se observa en la Tabla 11-3, las diferencias no sobrepasan los 0.02 mm, siendo minúsculas en el caso de las deformaciones. Nótese que en el caso del cono y corona Wingle, presenta deformaciones menores comparadas al cono y corona D-MAX, esto puede deberse al tipo de geometría de los dientes de cada engranaje y el torque que se aplica a cada conjunto, pues como se observó en el capítulo anterior, es distinto para cada conjunto. Asimismo, en los casos donde

se emplea la variante de 18°, los resultados de las deformaciones son mayores, esto debido a que la carga se distribuye de manera distinta y por ende, mayor deformación.

Benítez (2008, pp.40-52), establece que las deformaciones que se presenten en un sistema de engranajes van relacionadas de acuerdo al esfuerzo que se localice en cada una, y pueden provocar una desalineación del sistema al deformarse de manera permanente o mediante desgaste producido por fatiga. De acuerdo a esta observación se deduce que las deformaciones son mínimas y los esfuerzos se encuentran por debajo del valor límite de fluencia, y en la aplicación real de este sistema, va acompañado mediante aceite lubricante que permite que la fricción en el contacto entre dientes sea mínima, reduciendo las tensiones que podrían producirse.

Duque (2017, pp.52-69), indica que las deformaciones pueden darse por cargas repetitivas, pese a estar por debajo del límite de fluencia. Esto debido a que, durante los ciclos de carga, se genera una huella entre los dientes, que, con el paso del tiempo, pierden elasticidad debido a la tracción y temperaturas de trabajo del material. Por eso se recomienda que en el contacto entre el cono y corona deba existir un lubricante que evite que los esfuerzos producidos por el contacto sean altos, y las deformaciones se presenten en un periodo de tiempo mucho más prolongado.

Tabla 12-3: Comparación de Esfuerzos D-MAX vs Wingle

Variante	DMAX	Wingle	Diferencia [MPa]
Original	632,85	601,71	31,14
18°	830,21	715,15	115,06
14.5°	674,7	647,35	27,35

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

De lo observado en la Tabla 12-3, las diferencias entre esfuerzos son más notorias, siendo una de 115.06 MPa, ubicada en la variante de 18°. Esto posee congruencia pues en la comparativa de deformaciones, los valores mayores de deformación se ubicaban en esta variante, debido de igual manera, a la aplicación de la carga.

Benítez (2008, pp.40-52), Detalla que los esfuerzos deben ubicarse de preferencia por debajo del límite de fluencia del material, de forma que no se exceda su resistencia y cause fallas por rotura. De igual manera, establece que las fallas producidas por fatiga son evidentes después de varios ciclos, y aún más evidentes si las deformaciones provocan desalineación, pues permiten que exista una concentración de esfuerzos en dicha zona, afectando en mayor manera hacia la raíz del diente. Kim, Park y Lee (2020, pp.13-22), Concluyen que el ciclo de vida se verá afectado por la aplicación de carga que, a su vez, genera un esfuerzo, el cual deberá ubicarse debajo del límite de fluencia del material, pues de esta manera, se evita que el ciclo de vida sea extremadamente corto, paros por mantenimiento y reemplazo de componentes.

Tabla 13-3: Comparación de Factor de seguridad D-MAX vs Wingle

Variante	DMAX	Wingle	Diferencia
30°-14°	2,338	2,46	0,122
18°	1,783	2,07	0,287
14.5°	2,194	2,3	0,106

Realizado por: Rivera, E.; Toapanta, M., 2022.

En la Tabla 13-3, se diferencia que el cono y corona Wingle posee, en su mayoría, valores que sobrepasan a 2; nótese que las diferencias son pequeñas, salvo en las variantes de 18°, pues posee un valor de 0.287, siendo el doble de los resultados de cada diferencia. Esta variante presenta valores muy distintos a los comparados. Esto puede deberse a la carga aplicada ya que se distribuye de distinta manera a través de los dientes, por los ángulos descritos.

Vaca, Martínez y Leguísamo (2020, p.90), afirman que el factor de seguridad a fatiga en engranajes helicoidales debe ser superior a 1,25, motivo por el cual se acepta la simulación realizada y se establece que estas configuraciones son adecuadas para la fabricación. Siendo la configuración 30°-14° la que mejores prestaciones ofrece debido a que presenta una menor concentración de esfuerzos y un mayor valor de factor de seguridad a fatiga.

Además, se tiene que cada conjunto presenta la misma forma, pero una geometría diferente, en cuestión de diámetros de corona y cono, siendo la Wingle menor que la D-max, además de presentar diferente número de dientes y relación entre cono y corona; los resultados más factibles de las variables analizadas: deformación, esfuerzos, vida útil y factor de seguridad, se observaron en las configuraciones originales. Además, se verificó que las simulaciones sean consideradas aceptables debido al factor de seguridad que muestran un valor superior a 1, a excepción de D-MAX 18°-18° el cual genera fallo por fatiga. Las demás configuraciones muestran valores de esfuerzo menores a las del límite de fluencia, respetando el principio de diseño de este conjunto de engranajes.

Kawasaki, et al. (2010, pp.337-348), define el mecanizado en engranes cónicos en espiral del cono y corona empleando un tiempo total de 53h con el acero de cementación aleado (17CrNiMo6) para la fabricación de estos componentes. Además, fue empleando las operaciones de desbaste, semiacabado y acabado donde el tamaño de estos engranajes es de mayor volumen comparado con el tamaño del cono y corona de los vehículos pick up y se ve reflejado en los tiempos de mecanizado donde tenemos un total de 27 horas para el conjunto D-max mientras que el conjunto Wingle se obtuvo un total de 24 horas, empleando las operaciones de desbaste, semiacabado y acabado.

CONCLUSIONES

- En el proceso de digitalización de cada componente se utilizó la cámara del smartphone Huaewi Y7, catalogado de gama media con un sistema fotográfico principal de 13 Mpx y otro de 2 Mpx para capturar la información de profundidad. Además, se activó la configuración de la cámara IA ajustándose a los parámetros de la foto en tiempo real con la finalidad de obtener una mejor resolución del proceso de fotogrametría, para ello se realizó en un ambiente natural con el fin de obtener una mejor calidad y claridad de las imágenes, también la distancia es un factor muy importante debido que las piezas son pequeñas por tanto se consideró una distancia de 250 a 300 mm para realizar las sesiones fotográficas obteniendo 47 fotos al cono y 56 fotos a la corona de cada conjunto.
- El proceso de obtención del modelo 3D de cada componente fue de alrededor de 9 horas, donde 3 horas se emplearon en el proceso de adquisición y montaje de las imágenes en el software Agisoft para la generación y post procesamiento de la nube de puntos, y una duración de 4.5 horas para la reconstrucción del objeto mediante el software Geomagic. Los acabados y construcción del mango y agujeros mediante el software SolidWorks, tuvieron una duración de 1.5 horas. De manera que el modelo 3D de cada componente de los conjuntos D-MAX y Wingle posee alrededor de un 33.33% de Agisoft, 50% de Geomagic y un 16.67% de Solidworks.
- Se obtuvo las mediciones del objeto real empleando un calibrador donde fueron tomadas 20 lecturas independientes de las dimensiones principales como son: diámetros, alturas, espesor de cresta, longitud del diente, luego fueron comparadas con las dimensiones del modelado CAD donde se obtuvo el rango medio de error basado en las dimensiones de los componentes reales y computacionales de 5%, de manera que la aproximación de los mismos es del 95%, siendo aptos para la simulación computacional.
- Se definió el ángulo de inclinación del diente como el parámetro geométrico de variación del sistema cono-corona para ejecutar las simulaciones, aplicando una carga a la entrada del cono presentando un mayor torque en el conjunto D-max de 1212 Nm siendo un 34% mayor que el torque aplicado al conjunto Wingle, por esta razón, los resultados de mayor valor obtenidos en el ANSYS se concentran en el conjunto D-max. Donde los valores máximos obtenidos de deformación entre los conjuntos D-max y Wingle fueron de 0.051 y 0.032 milímetros, siendo una diferencia del 37%, mientras que los valores máximos de esfuerzo fueron de 632 y 601 MPa, respectivamente indicando que el esfuerzo generado se encuentra interactuando en la zona elástica del material AISI 4140, siendo el límite elástico de 1480 MPa, el cual es menor a los esfuerzos generados en ambas configuraciones. Además, los factores de seguridad a fatiga fueron de 2.33 y 2.46 siendo los valores más altos en la configuración original donde

presenta mejores resultados, dando por entendido que el material escogido es apropiado para llevar al proceso CAM.

- Mediante el empleo del software CAM se ejecutaron las operaciones de manufactura como son desbaste, semi acabado y acabado, requeridas para la fabricación del cono-corona. Empleando en el cono de ambos conjuntos el 60.38% de desbaste, semi acabado de los dientes con 6.38% y un acabado de 33.22% con un tiempo total de mecanizado de 14h36min y 13h51min respectivamente para el cono D-max y Wingle. También en la corona de ambos conjuntos se realizaron las operaciones de mecanizado como es el desbaste con 34.86%, semi acabado de los dientes con 20.63% y un acabado de 44.5% con un tiempo total de mecanizado de 12h17min y 10h3min respectivamente para la corona D-max y Wingle. De esto se tiene la mayor operación aplicada en el desbaste pues determina la forma geométrica de los componentes eliminando la mayor cantidad de volumen con herramientas más robustos, permitiendo que el resto de las operaciones, como el semi acabado de los dientes y el acabado se realicen de mejor manera, sin generar rompimientos de fresas o choques entre los herramientas y el componente. Posterior a esto, se post procesó en un controlador Fanuc para generar los códigos ISO y guardar en un archivo .txt para la fabricación del cono y corona de forma individual.

RECOMENDACIONES

- Previo a efectuar el escaneo 3D es recomendable limpiar los objetos a trabajar con la finalidad de eliminar la presencia de polvo o residuos de grasa generados por las condiciones de trabajo a las que se exponen los objetos. Además, las partes a escanear deben presentar una superficie de incidencia opaca para lo cual se lo puede recubrir con una capa homogénea de talco.
- En la obtención de las imágenes para la digitalización del objeto se recomienda la utilización de una cámara de mayor resolución para aumentar la precisión del modelo 3D. Para asegurar una buena precisión todos los puntos del objeto deben aparecer en al menos tres imágenes.
- Para el análisis del factor de seguridad a fatiga hay que tener presente que el factor de resistencia a fatiga k_f debe ser menor a 1 con la finalidad de considerar aquellos factores que acortan la vida útil de los elementos y así obtener valores cercanos a la realidad.
- Para futuras investigaciones se recomienda considerar nuevos ángulos de inclinación de los dientes menores de 14.5° con la finalidad de identificar geometrías que concentren una menor cantidad de esfuerzos.
- En el proceso de fabricación de engranajes helicoidales se sugiere usar como material al AISI 4140 debido a la buena resistencia que este presenta.
- Posterior a la obtención de los códigos G se recomienda post procesarlo en un simulador de maquina CNC con el propósito de verificar las operaciones y trayectorias de mecanizado para evitar colisiones de los herramientas.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, D., & OVIEDO, J. Ingeniería inversa, desarrollo tecnológico y construcción del conjunto corona-eje para un reductor de tornillo sin fin. [En línea] (Trabajo de titulación) (Tesis de grado). Univeridad Tecnológica de Pereira, Facultad de tecnologías, Escuela de tecnología mecánica. Pereira-Colombia. 2016. pp. 15-30. [Consultado en: 2021-07-16]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6727/621833A666.pdf>

ADUANAS ECUADOR. *Importaciones 2019*. [En línea]. Guayaquil-Ecuador : Servicio Nacional de Aduanas del Ecuador, 2020. [Consultado en: 2021-06-20] Disponible en: <https://www.aduana.gob.ec/importaciones/2019>

AEADE. *Anuario 2018*. [En línea]. Quito-Ecuador: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2019. [Consultado en: 2021-07-20]. Disponible en: https://www.aeade.net/sdm_downloads/anuario-aeade-2018/

AGISOFT. *Agisoft Metashape*. [En línea] St. Petersburg-Rusia: Agisoft, 2021. [Consultado en: 2021-09-09] Disponible en: <https://www.agisoft.com/>

ANSYS INC. *ANSYS Meshing User's Guide*. [En línea] Canonsburg, PA-USA : ANSYS Inc, 2019. [Consultado en: 2021-07-27]. Disponible en: https://www.academia.edu/27974461/ANSYS_Meshing_Users_Guide

AZOGUE, M. Desarrollo de la Ingeniería Inversa para la obtención de circuitos electrónicos del sistema de inyección del Chevrolet Sail con FADOS9F1. [En línea] (Trabajo de titulación) (Tesis de Grado). Universidad Internacional de Ecuador, Facultad de Ingeniería en Mecánica Automotriz. Guayaquil-Ecuador. 2018. pp. 5-40. [Consultado en: 2021-07-25]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2592/3/T-UIDE-185.pdf>

BITFAB. *Bitfab-Servicio de impresión 3D bajo demanda*. [Blog] Madrid-España: Bitfab, 2021. [Consultado en: 2021-09-01]. Disponible en: <https://bitfab.io/es/>

BUDYNAS, Richard G., & NISBETT, Keith J. *Shigley's Mechanical Engineering Design*. 11th Edition [En línea]. New York-USA: McGraw-Hill Education, 2019. [Consultado en: 2021-07-22]. Disponible en: http://mech.sharif.edu/~mechengdesign/Shigley's%20Mechanical%20Engineering%20Design_TextBook.pdf

CARO, C., & PATIÑO, W. *"Planteamiento de una solución automatizada al proceso de manufactura de moldes y modelos para ASTEMODEL S.A.S"*. Especialización en Informática y Automática Industrial [En línea], 2018, (Colombia), pp. 2-9. [Consultado en: 2021-10-22]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13524>

CASIGNIA, M., & PERUGACHI, D. Desarrollo de un escáner 3D de bajo costo y plataforma giratoria. [En línea] (Trabajo de titulación) (Tesis de Grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Guayaquil-Ecuador. 2017. pp. 12-37. [Consultado en: 2021-07-25]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/43963>

CES EDUPACK. *Low Alloy Steel AISI 4140 (Oil quenched and tempered at 205°C)*. [En línea]. Buenos Aires-Argentina: GRANTA, 2019. [Consultado en: 2021-07-25]. Disponible en: <https://www.grantadesign.com/wp-content/uploads/2019/02/CESInstallationGuide2019.pdf>

CHAMBA, E., & CEDEÑO, E. "Análisis del material del habitáculo de seguridad de un vehículo liviano por método multicriterio". Enfoque UTE [En línea], 2020, (Ecuador) 11(1), pp. 108-118. [Consultado en: 2021-07-20]. Disponible en: <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3925/1/13906542%20LLANES%20EDILBERTO%202020-01-31%20.pdf>

CHEVROLET. *Chevrolet D-MAX 4x4 High Country* [En línea]. Quito-Ecuador: Chevrolet Ecuador, 2019. [Consultado en: 2021-07-22]. Disponible en: <https://www.chevrolet.com.ec/fichas-tecnicas#camionetas>

CUSCO, B. Desarrollo de un sistema electrónico para controlar la trayectoria en el escaneo 3D de extremidades del cuerpo humano con una cámara Kinect. [En línea] (Trabajo de titulación) (Tesis de Grado). Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Electrónica. Cuenca-Ecuador. 2018. pp. 1-41. [Consultado en: 2021-07-25]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16426>

DERCOCENTER. *Conoce tu vehículo: función del diferencial de un auto* [Blog]. [Consultado en: 2021-08-16]. Disponible en: <https://www.dercocenter.cl/noticias/funcion-del-diferencial/>

DIRECT INDUSTRY. *Engranaje cónico [En línea]. Madrid-España: Virtual Expo Group, 2019. [Consultado en: 2021-07-28]. Disponible en: <https://www.directindustry.es/fabricante-industrial/engranaje-conico-75691.html>*

DUQUE R., & PABLO A. Guía técnica para el diseño y cálculo de engranajes para reductores de velocidad (Trabajo de titulación) (Tesis de grado) [En línea]. Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Ingeniería Mecánica. Valparaíso-Chile. 2017. pp: 14-56. [Consultado en: 2021-10-15]. Disponible en: <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/23572/3560900257298UTFSM.pdf>

ESPITIA, A. *Alineación de vehículos [Blog]. [Consultado en: 2021-07-19]. Disponible en: <http://alineacionsena.blogspot.com/2007/11/camber.html>*

GOENGINEER. *Geomagic for Solidworks [Blog]. [Consultado en: 2021-08-25]. Disponible en: <https://www.goengineer.com/reverse-engineering/geomagic-for-solidworks>*

GRANDE, J. Diseño, inspección y análisis de engranajes cónicos. [En línea] (Trabajo de titulación) (Tesis de grado). Universidad Carlos III de Madrid, Escuela politécnica superior, Departamento de Mecánica. Leganés-España. 2017. pp. 21-25. [Consultado en: 2021-07-30]. Disponible en: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/28181/TFG_Juan-Manuel_Grande_Verbo.pdf

GREATWALL. *Wingle 5 [En línea]. Ambato-Ecuador: Ambacar Cia.Ltda, 2021.[Consultado en: 2021-07-22]. Disponible en: <https://www.ambacar.ec/autos-nuevos/great-wall/camionetas/wingle-5-gasolina-doble-cabina>.*

HUAWEI. *Huawei Y7 2019 Especificaciones [En línea]. Lima-Perú: Huawei Technologies Co, Ltd, 2021. [Consultado en: 2021-09-02]. Disponible en: <https://consumer.huawei.com/pe/phones/y7-2019/specs/>*

KAWASAKI, keisuke., et. al. *Proc. de la Conferencia Internacional sobre Engranajes "Manufacturing Method of Large-Sized Spiral Bevel Gears in Cyclo-Paloid System Using Multi-Axis Control and MultiTasking Machine Tool". [En línea], 2010,(Alemania),pp: 337-348. [Consultado en: 2021-10-02]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/284762543_Manufacturing_method_of_large-sized_spiral_bevel_gears_in_cyclo-paloid_system_using_multi-axis_control_and_multi-tasking_machine_tool*

KIM, Wan-Soo., et. al. "Evaluation of the fatigue life of a tractor's transmission spiral bevel gear". *Journal of Terramechanics* [En línea], 2020, (Daejeon-Republic of Korea) 94(4), pp:13-22. [Consultado en: 2021-10-02]. ISSN 0022-4898. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022489820301087>

LISINTUÑA, J., & MOLINA, G. Análisis y aplicación de ingeniería inversa en objetos con scanners 3D para el apoyo de conservación del Patrimonio Cultural del Ecuador. [En línea] (Trabajo de titulación) (Tesis de grado). Universidad de las Fuerzas Armadas, Departamento de ciencias de la tierra y la construcción, Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medioambiente. Sangolquí-Ecuador. 2017. pp. 29-42. [Consultado en: 2021-07-26]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/13259/1/T-ESPE-057296.pdf>

MARTINEZ, J. Implementación de operaciones tecnológicas, para la generación de engranajes rectos, en centro de maquinado CNC. (Trabajo de titulación) (Tesis de grado). Universidad Santo Tomás, Facultad de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías. Bogotá D.C-Colombia. 2016. pp. 1-100. [Consultado en: 2021-07-22]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2618/Martinezjorge2016.pdf>

MECÁNICA CURIEL S.L. *El torneado CNC* [Blog]. [Consultado en: 2021-10-10]. Disponible en: <https://mecanicacuriel.com/2017/05/29/el-torneado-cnc/>

MOLINA, J., & TAPUY, B. Análisis de materiales alternativos para la fabricación del block de un motor PyP 10 mediante los métodos CAD, CAM Y CAE. [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis de Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz. Riobamba-Ecuador. 2018. pp. 30-51. [Consultado en: 2021-07-25]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/9961/1/65T00284.pdf>

MOTT, R. L. *Diseño de Elementos de Máquinas* [En línea]. México D.F-México: Pearson Educación, 2018. [Consultado en: 2021-07-15]. Disponible en: https://www.academia.edu/38450613/Dise%C3%B1o_de_elementos_de_m%C3%A1quinaspdf

NARANJO, H., & Salvador, J. *Revista Internacional de Administración* "La desagregación tecnológica como herramienta para la generación de políticas públicas de incentivo a la innovación". [En línea], 2017, (Quito-Ecuador) 3(2), pp. 52-67. [Consultado en: 2021-07-10] ISSN 2661-6513. Disponible en: <https://revistas.uasb.edu.ec/index.php/eg/article/view/626>

OSPINA, C., & RAMÍREZ, B. Aplicación de la Ingeniería Inversa en la Reproducción de una Pieza Plástica Inyectada. [En línea] (Trabajo de titulación) (Tesis de grado). Univeridad Tecnológica de Pereira, Facultad de tecnologías, Escuela de tecnología mecánica. Pereira-Colombia. 2015. pp. 14-32. [Consultado en: 2021-07-20]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5443/668412083.pdf>

PARRAS, D., et. al. "Utilización del escaneado 3D e ingeniería inversa para el prototipado de piezas mecánicas". *Project Management and Engineering* [En línea], 2016, (Cartagena-Colombia) 20(1), pp. 867-880. [Consultado en: 2021-07-18]. Disponible en: http://dspace.aepro.com/xmlui/bitstream/handle/123456789/816/CIDIP2016_03006.pdf

RENISHAW. *Escáner de contacto DS10* [Blog]. [Consultado en: 2021-08-08]. Disponible en: <https://www.renishaw.es/es/escaner-de-contacto-ds10--32394>

REYES, Y., & CIFUENTES, A. *Revista Metalnova* "Establecer una metodología para implementación del escaneo óptico 3D como sistema de verificación en el SENA-CMM aplicado en engranajes". [En línea], (Bogotá-Colombia) 1(1), pp. 6-9. [Consultado en: 2021-07-21] ISSN 2619-2357. Disponible en: <http://revistas.sena.edu.co/index.php/metalnova/article/view/2134/2434>

RIVERA, M., & ZÁRATE, R. Desagregación tecnológica de un prototipo de alto impacto desarrollado por el laboratorio de tecnologías de inclusión de la Universidad Politécnica Salesiana. [En línea] (Trabajo de titulación) (Tesis de grado). Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Electrónica. Cuenca-Ecuador. 2015. pp. 35-60. [Consultado en: 2021-07-20]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7948/1/UPS-CT004805.pdf>

ROMERO, A., & GARCÍA, L. "Escáner 3D para reconstrucción computarizada de objetos reales". *Jóvenes en la ciencia* [En línea], (México D.F-México) 1(3), pp. 11-15. [Consultado en: 2021-08-15] ISSN 2395-9797. Disponible en: <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/716>

SERNA, E. *Desarrollo e innovación en ingeniería* [En línea]. 2^{da} ed. Antioquía Medellín-Colombia: Instituto Antioqueño de Investigación, 2016. [Consultado en: 2021-06-12]. Disponible en: https://www.academia.edu/39630373/DESARROLLO_E_INNOVACION%20EN_INGENIERIA_Editorial_IAI

SUAREZ, J., et. al. *Revista Ingeniería* "Industria 4.0 y Manufactura Digital: Un Método de Diseño Aplicando Ingeniería Inversa". [En línea]. (México D.F-México) 21(1), pp. 6-29. [Consultado en: 2021-06-15] ISSN 2344-8393. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/reving/article/view/13821/14633>

VACA, C., MARTÍNEZ, J., & LEGUISAMO, J. *CienciAmérica* "Selección de materiales mediante uso de multicriterio aplicado a un engranaje helicoidal de la caja de cambios de dmax 3.0". [En línea]. (Quito-Ecuador) 9(1), pp. 34-50. [Consultado en: 2021-08-15] ISSN 1390-9592. Disponible en: <http://cienciamerica.uti.edu.ec/openjournal/index.php/uti/article/view/171/382>

VALVERDE, J. Desarrollo de metodologías enfocadas a aplicaciones de ingeniería inversa para producir aplicaciones de ingeniería inversa para reproducir objetos mediante escaneado 3d, Sistemas CAD/CAM y prototipado rápido. [En línea] (Trabajo de titulación) (Tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica. Quito-Ecuador. 2019. pp. 4-33. [Consultado en: 2021-07-25]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20357>

ZHAN, J., FARD, M. & JAZAR, R. *Measurement* "A CAD-FEM-QSA integration technique for determining the time-varying meshing stiffness of gears pairs". [En línea]. (Sydney-Australia), 100(1), pp. 139-149. [Consultado en: 2021-10-18]. ISSN 0263-2241. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263224116307540>

ANEXOS

ANEXO A: PROPIEDADES MECÁNICAS ACERO AISI 4040

General information

Designation

AISI 4140	
Condition	Tempered at 205°C & oil quenched
UNS number	G41400
US name	SAE H41400, SAE 4140, SAE 4142, SAE 4140, ASTM J 70, ASTM J 65, ASTM J 55, ASTM 4140, ASTM G41420, ASTM E7140, ASTM B7M, ASTM B16, ASTM 4142H, ASTM 4142, ASTM 4140H, ASTM 4140, ASTM 4137H, ASTM 41, ~SAE 4137H, ~ASTM B4D, ~ASTM 6
EN name	~42CrMoS4, ~42CrMo4
EN number	~1.7227, ~1.7223
ISO name	~ 42 CrMoS 4, ~ 42 CrMo 4, ~42CrMo4
GB (Chinese) name	~42CrMo
JIS (Japanese) name	SNB22-5, SNB22-4, SNB22-3, SNB22-2

Typical uses

Heavy duty shafts, connecting rods, high tensile bolts, propeller shaft joints, track pins

Composition overview

Compositional summary

Fe97-98 / Cr0.8-1.1 / Mn0.75-1 / C0.38-0.43 / Si0.15-0.35 / Mo0.15-0.25 (impurities: S<0.04, P<0.035)	
Material family	Metal (ferrous)
Base material	Fe (Iron)

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

C (carbon)	0.38	-	0.43	%
Cr (chromium)	0.8	-	1.1	%
Fe (iron)	* 96.8	-	97.8	%
Mn (manganese)	0.75	-	1	%
Mo (molybdenum)	0.15	-	0.25	%
P (phosphorus)	0	-	0.035	%
S (sulfur)	0	-	0.04	%
Si (silicon)	0.15	-	0.35	%

Price

Price	* 0.81	-	0.85	USD/kg
Price per unit volume	* 6.32e3	-	6.72e3	USD/m ³

Physical properties

Density	7.8e3	-	7.9e3	kg/m ³
---------	-------	---	-------	-------------------

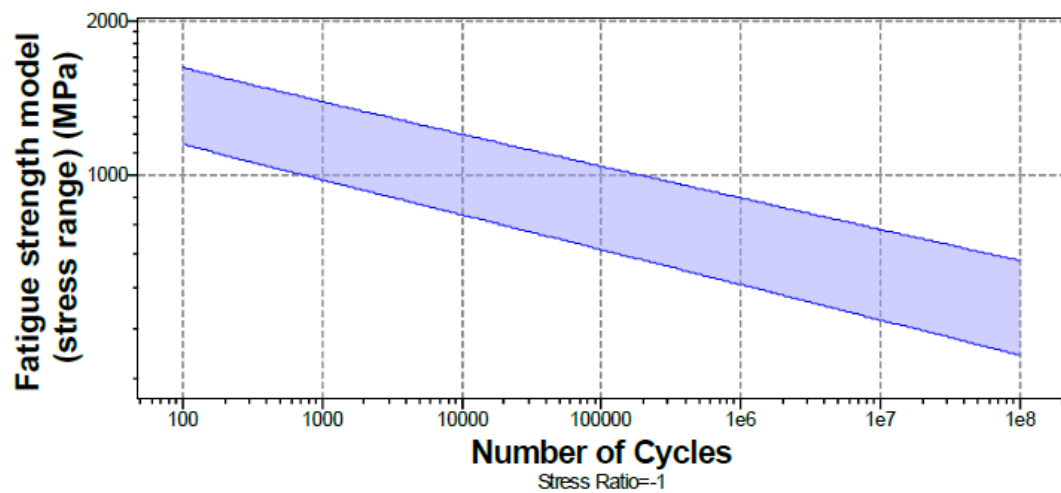
Mechanical properties

Young's modulus	208	-	216	GPa
-----------------	-----	---	-----	-----

Los valores marcados con * son aproximaciones
No warranty is given for the accuracy of this data

Specific stiffness	26.5	-	27.5	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	1.48e3	-	1.81e3	MPa
Tensile strength	1.6e3	-	1.95e3	MPa
Specific strength	188	-	231	kN.m/kg
Elongation	6	-	10	% strain
Compressive strength	* 1.48e3	-	1.81e3	MPa
Flexural modulus	* 208	-	216	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	1.48e3	-	1.81e3	MPa
Shear modulus	80	-	85	GPa
Bulk modulus	161	-	176	GPa
Poisson's ratio	0.285	-	0.295	
Shape factor	14			
Hardness - Vickers	455	-	565	HV
Elastic stored energy (springs)	5.18e3	-	7.66e3	kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 593	-	684	MPa
Fatigue strength model (stress range)	* 520	-	781	MPa

[Parámetros:](#) Stress Ratio = -1, Number of Cycles = 1e7cycles

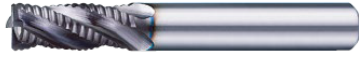


ANEXO B: HERRAMENTALES

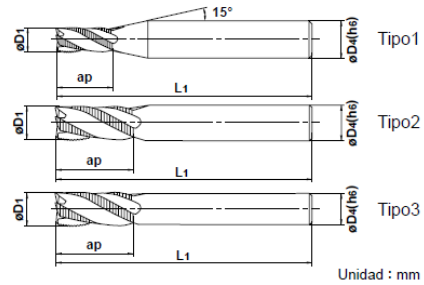
VFSFPR
Desbaste, Longitud corta, 3–4 hélices

$D_4 = 6 \quad 0 \text{---} -0.008$
 $8 \leq D_4 \leq 10 \quad 0 \text{---} -0.009$
 $12 \leq D_4 \leq 16 \quad 0 \text{---} -0.011$
 $D_4 = 20 \quad 0 \text{---} -0.013$

Acero Carbono, Acero Aleado, Fundición (<30HRC)	Acero para herramientas, Acero Pre-endurecido, Acero endurecido ($\leq 45\text{HRC}$)	Acero Endurecido ($\leq 55\text{HRC}$)	Acero Endurecido ($>55\text{HRC}$)	Acero Inoxidable Austenítico	Aleación de Titanio, Aleaciones Altamente Resistentes	Aleación de Cobre	Aleación de Aluminio
---	---	--	--------------------------------------	------------------------------	---	-------------------	----------------------



● Fresa de desbaste Impact Miracle, para una gran variedad de materiales de trabajo, desde aceros en general hasta aceros endurecidos y materiales difíciles de mecanizar.



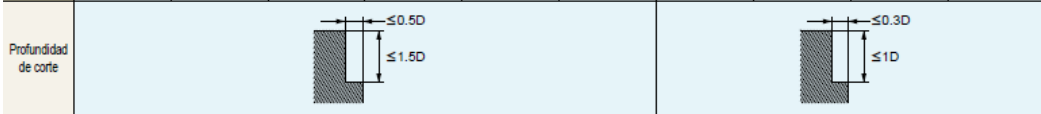
Unidad : mm

Referencia	Diámetro D1	Longitud de corte ap	Longitud total L1	Diámetro del mango D4	Número de hélices N	Stock	Tipo
D0400	4	8	50	6	3	●	1
D1000	10	22	70	10	4	●	2
D2000	20	38	100	20	4	●	2

VFSFPR
Desbaste, Longitud corta, 3–4 hélices

Fresado es cuadrado

Material	Acero Carbono, Fundición, Acero aleado (<30HRC)		Acero aleado, Acero para herramientas, Acero Pre-endurecido		Austenítico Acero inoxidable, Aleación de Titanio		Acero endurecido (45–55HRC)		Aleaciones altamente resistentes	
	Cf53, GG 25		X40CrMoV51		X5CrNi1810, X5CrNiMo17122, Ti6Al4V		X40CrMoV51		Inconel718	
Diámetro (mm)	Revoluciones (min ⁻¹)	Avance (mm/min)	Revoluciones (min ⁻¹)	Avance (mm/min)	Revoluciones (min ⁻¹)	Avance (mm/min)	Revoluciones (min ⁻¹)	Avance (mm/min)	Revoluciones (min ⁻¹)	Avance (mm/min)
3	16000	960	13000	640	6400	260	5300	320	4200	70
4	12000	960	9500	640	4800	260	4000	320	3200	70
5	9500	960	7600	640	3800	260	3200	320	2500	70
6	8000	960	6400	680	3200	290	2700	340	2100	75
8	6000	1050	4800	760	2400	340	2000	400	1600	95
10	4800	1050	3800	760	1900	340	1600	400	1300	105
12	4000	960	3200	700	1600	320	1300	400	1100	110
16	3000	840	2400	620	1200	300	1000	360	800	110
20	2400	760	1900	560	1000	300	800	320	600	100



D: Diámetro

CARBURO (METAL DURO)

CUADRADO

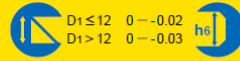
PUNTA ESFERICA

NTCÓNDC;

CARBURO (METAL DURO)

VC2MS

Longitud media, 2 hélices

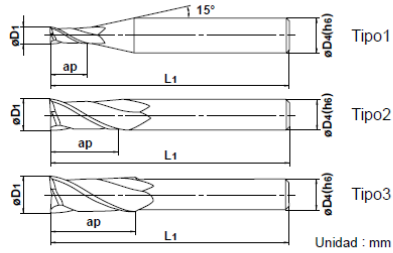


CARBURO
(METAL DURO)

Acero Carbono, Acero Aleado, Fundición (<30HRC)	Acero para herramientas, Acero Pre-endurecido, Acero endurecido (≤45HRC)	Acero Endurecido (≤55HRC)	Acero Endurecido (>55HRC)	Acero Inoxidable Austenítico	Aleación de Titanio, Aleaciones Altamente Resistentes	Aleación de Cobre	Aleación de Aluminio
○	◎	○	○	○	○	○	○



● Fresa para ranurar. Uso general para una amplia área de aplicaciones.



CUADRADO

PUNTA
ESFÉRICA

Referencia	Diámetro D1	Longitud de corte ap	Longitud total L1	Diámetro del mango D4	Número de hélices N	Stock	Tipo
D0600	6	13	50	6	2	●	2

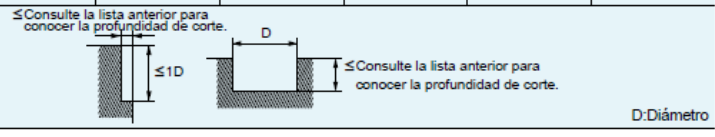
CONDICIONES DE CORTE ESTÁNDAR DE LAS FRESAS INTEGRALES

VC2MS

Longitud media, 2 hélices

CARBURO
(METAL DURO)

Material	Acero Carbono, Fundición, Acero aleado, Acero Pre-endurecido			Acero endurecido (45—55HRC)			
	Diámetro (mm)	Revoluciones (min ⁻¹)	Avance (mm/min)	Profundidad de corte (mm)	Revoluciones (min ⁻¹)	Avance (mm/min)	Profundidad de corte (mm)
CF53, GG 25							
X40CrMoV51							
0.3	40000	200	0.005	40000	200	0.005	
0.5	40000	950	0.015	40000	950	0.015	
1	40000	2000	0.06	32000	1600	0.06	
1.5	40000	3000	0.12	32000	1900	0.08	
2	30000	3000	0.18	24000	1900	0.10	
2.5	24000	2600	0.25	19000	1600	0.13	
3	20000	2300	0.30	16000	1400	0.15	
4	15000	2000	0.40	12000	1200	0.20	
5	12000	1600	0.50	9000	900	0.25	
6	10000	1400	0.60	7000	700	0.30	
8	8000	1000	0.80	5600	550	0.40	
10	6400	900	1.00	4500	500	0.50	
12	5400	820	1.00	3800	450	0.50	
16	2400	380	3.00	1200	100	0.80	
20	1900	320	4.00	1000	80	1.00	



D:Diámetro

FRESAS INTEGRALES MIRACLE

CARBURO METAL DURO

VC2MB

Punta esférica, longitud media, 2 hélices

$R \leq 6.5 \pm 0.01$
 $R > 6.5 \pm 0.02$

$D1 \leq 12 \quad 0 \text{---} -0.02$
 $D1 > 12 \quad 0 \text{---} -0.03$

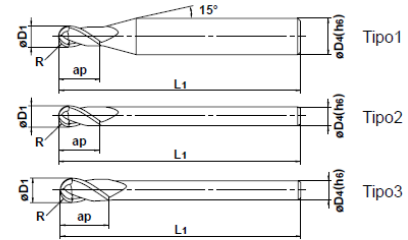
$D4 = 3 \quad 0 \text{---} -0.006$
 $4 \leq D4 \leq 6 \quad 0 \text{---} -0.008$
 $8 \leq D4 \leq 10 \quad 0 \text{---} -0.009$
 $12 \leq D4 \leq 16 \quad 0 \text{---} -0.011$
 $20 \leq D4 \leq 25 \quad 0 \text{---} -0.013$

Acero Carbono, Acero Aleado, Fundición (<30HRC)	Acero para herramienta, Acero Pre-endurecido, Acero endurecido ($\leq 45\text{HRC}$)	Acero Endurecido ($\leq 55\text{HRC}$)	Acero Endurecido ($> 55\text{HRC}$)	Acero Inoxidable Austenítico	Aleación de Titanio, Aleaciones Aluminio Resistentes	Aleación de Cobre	Aleación de Aluminio
○	○	○	○	○	○	○	○

CUADRADO



● Fresa integral de punta esférica de uso general para una amplia área de aplicaciones.



Unidad : mm

Referencia	Radio de punta esférica R	Diámetro D1	Longitud de corte ap	Longitud total L1	Diámetro del mango D4	Número de hélices N	Stock	Tipo
R0050	0.5	1	2.5	40	4	2	●	1
R0100	1	2	6	60	6	2	●	1

VC2MB

Punta esférica, longitud media, 2 hélices

VC2ESB

Punta esférica, hélice corta, 2 hélices

CARBURO METAL DURO

R (mm)	Material: Acero aleado, Acero para herramientas, Acero Pre-endurecido X40CrMoV51				Material: Acero endurecido (45-55HRC) X40CrMoV51					
	$\alpha \leq 15^\circ$		$\alpha > 15^\circ$		Profundidad de corte (mm)	$\alpha \leq 15^\circ$		$\alpha > 15^\circ$		Profundidad de corte (mm)
	Revoluciones (min ⁻¹)	Avance (mm/min)	Revoluciones (min ⁻¹)	Avance (mm/min)		Revoluciones (min ⁻¹)	Avance (mm/min)	Revoluciones (min ⁻¹)	Avance (mm/min)	
R 0.5	40000	5600	40000	3200	0.06	40000	5600	40000	3000	0.06
R 0.75	40000	6500	40000	3200	0.09	40000	6500	32000	3200	0.09
R 1	40000	6500	39000	3800	0.11	40000	6500	31000	3500	0.11
R 1.5	40000	7500	27000	4300	0.13	32000	6000	22000	3400	0.13
R 2	32000	7500	20000	3600	0.15	25000	6000	16000	2700	0.15
R 2.5	25000	6000	16000	2900	0.20	20000	5400	13000	2300	0.20
R 3	21000	5800	13000	2600	0.25	17000	4700	10000	2000	0.25
R 4	16000	4500	10000	2000	0.30	13000	3600	8000	1500	0.30
R 5	13000	3600	8000	1700	0.50	10000	2900	6400	1200	0.50
R 6	9000	2500	6000	1300	0.50	7200	2000	4800	1000	0.50

Seleccione un avance intermitente en base al acabado superficial necesario tomando como referencia "Selección de paso de avance intermitente" en la página N021.

Consulte la lista anterior para conocer la profundidad de corte. R:Radio

TALADRADO (INTEGRAL METAL DURO)

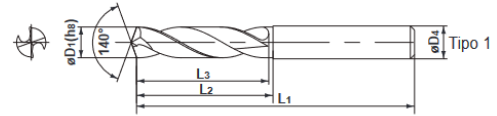
CARBURO
(METAL DURO)

MWE

- Apta para una amplia variedad de materiales en mecanizado de alta eficiencia y alta precisión, desde acero general hasta materiales difíciles de cortar.
- Apta para corte de baja o alta velocidad. Se puede utilizar en el rango de corte HSS.



Acero al carbono Acero aleado	Acero endurecido	Acero inoxidable	Fundición	Aleación ligera	Aleaciones termo-resistentes		D1=3	3<D1≤6	6<D1≤10	10<D1≤18	18<D1≤25
○	○	○	○	○	○		0 -0.014	0 -0.018	0 -0.022	0 -0.027	0 -0.033
							0 -0.014	0 -0.018	0 -0.022	0 -0.027	0 -0.033
							0 -0.006	0 -0.008	0 -0.009	0 -0.011	0 -0.013

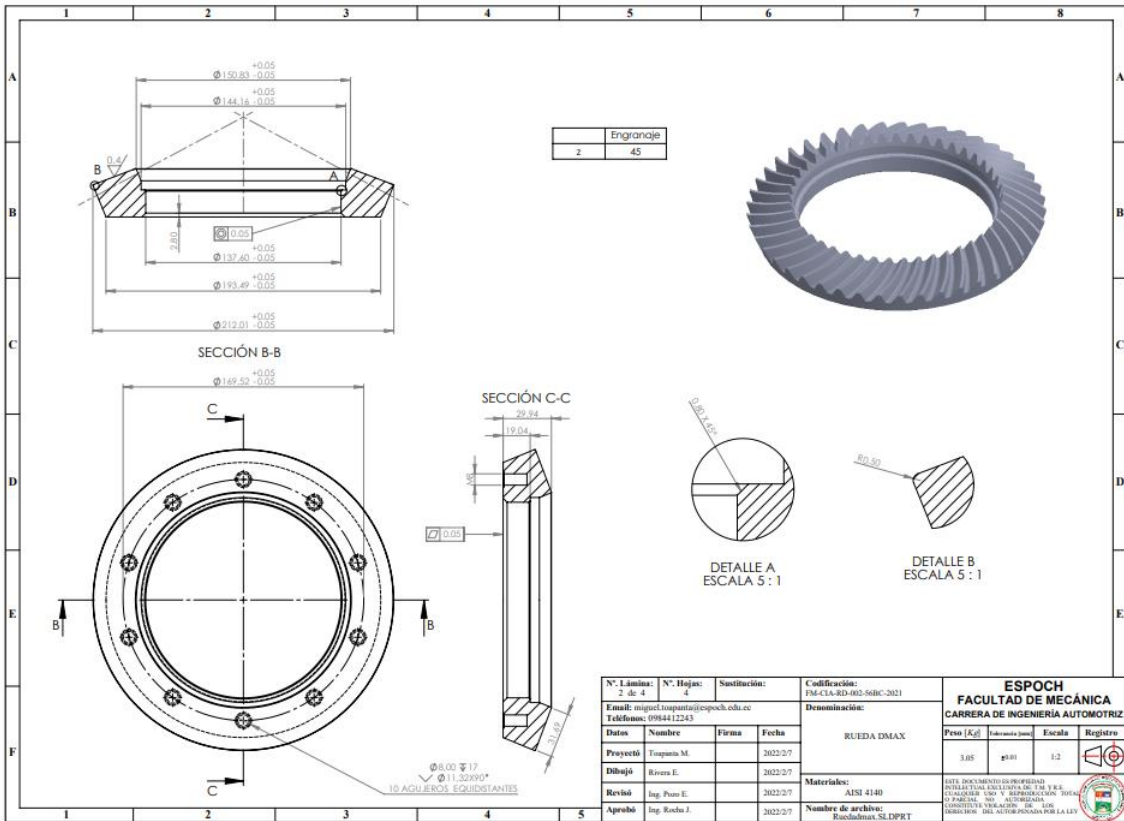
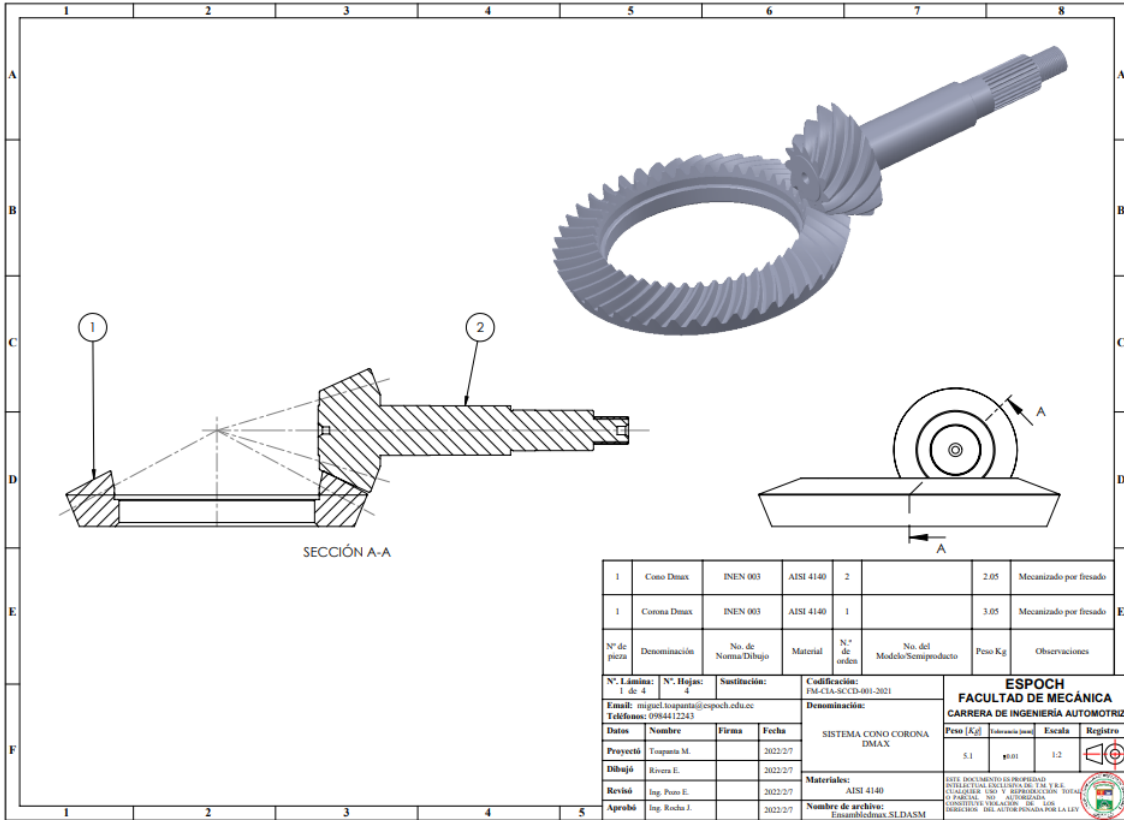


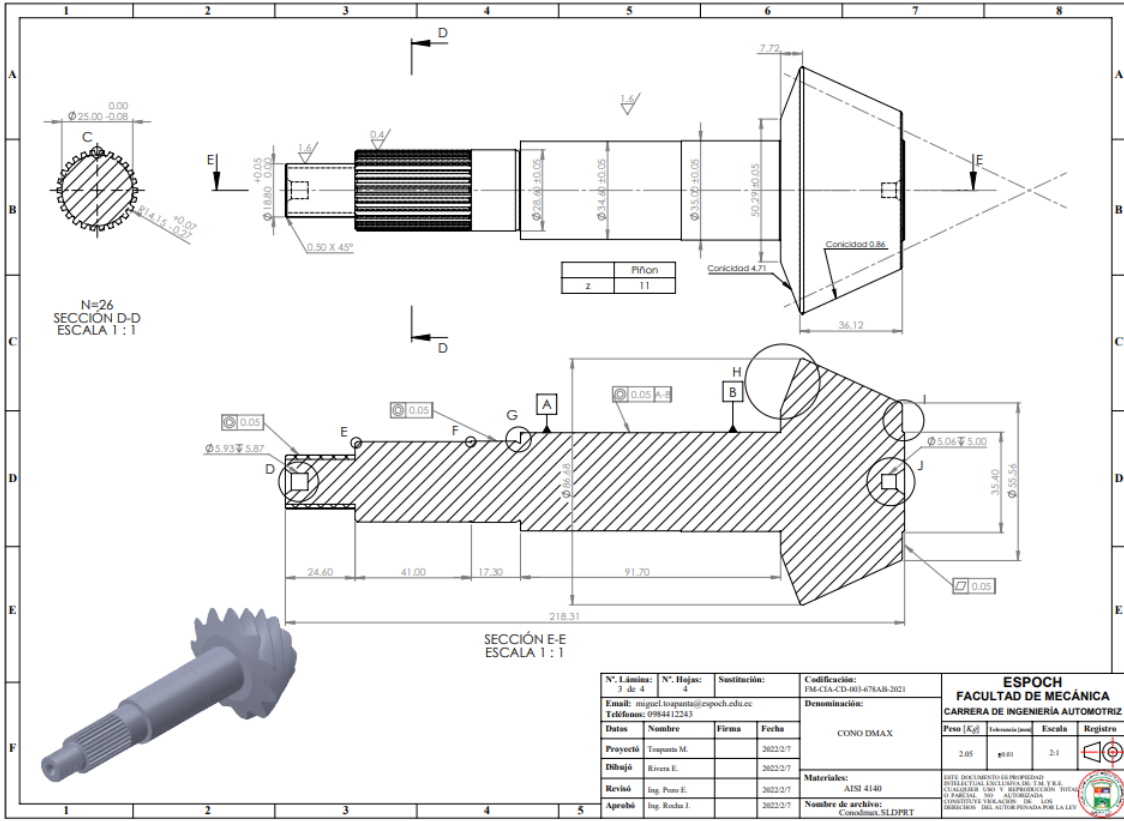
Diám. Broca D1 (mm)	Profundidad agujero (l/d)	Refrigeración (Int./Ext.)	Stock VP15TF	Referencia	Dimensiones (mm)				Tipo
					L3	L2	L1	D4	
9.1	2	Ext.	●	MWE0910SA	40	40	84	9.1	1
	3	Ext.	●	MWE0910MA	58	58	102	9.1	1
9.2	2	Ext.	●	MWE0920SA	40	40	84	9.2	1
	3	Ext.	●	MWE0920MA	58	58	102	9.2	1
9.3	2	Ext.	★	MWE0930SA	40	40	81	9.3	1
	3	Ext.	★	MWE0930MA	58	58	102	9.3	1
9.4	2	Ext.	★	MWE0940SA	40	40	84	9.4	1
	3	Ext.	★	MWE0940MA	58	58	102	9.4	1
9.5	2	Ext.	★	MWE0950SA	40	40	84	9.5	1
	3	Ext.	●	MWE0950MA	58	58	102	9.5	1

CONDICIONES DE CORTE RECOMENDADAS

Material	Aleación de aluminio (Si<5%)		Aleación termo-resistente Inconel718		Acero Enduracido (40–55HRC) X40CrMoV51, 55NiCrMoV7	
	Revoluciones (min ⁻¹)	Avance (min. – max.) (mm/rev)	Revoluciones (min ⁻¹)	Avance (min. – max.) (mm/rev)	Revoluciones (min ⁻¹)	Avance (min. – max.) (mm/rev)
3.0	7900	0.1 (0.06–0.13)	1900	0.07 (0.05–0.09)	1900	0.07 (0.05–0.09)
4.0	6300	0.12 (0.08–0.16)	1500	0.09 (0.06–0.11)	1500	0.09 (0.06–0.11)
5.0	5000	0.15 (0.10–0.20)	1200	0.11 (0.08–0.14)	1200	0.11 (0.08–0.14)
6.3	4500	0.2 (0.13–0.26)	1200	0.14 (0.09–0.19)	1200	0.14 (0.09–0.19)
8.0	3500	0.23 (0.18–0.28)	900	0.14 (0.11–0.17)	900	0.14 (0.11–0.17)
10.0	2800	0.27 (0.22–0.32)	700	0.16 (0.12–0.19)	700	0.16 (0.12–0.19)
12.0	2600	0.31 (0.28–0.34)	600	0.16 (0.13–0.18)	600	0.16 (0.13–0.18)
16.0	1900	0.33 (0.28–0.38)	400	0.18 (0.14–0.21)	400	0.18 (0.14–0.21)
20.0	1700	0.35 (0.30–0.40)	400	0.19 (0.15–0.22)	400	0.19 (0.15–0.22)

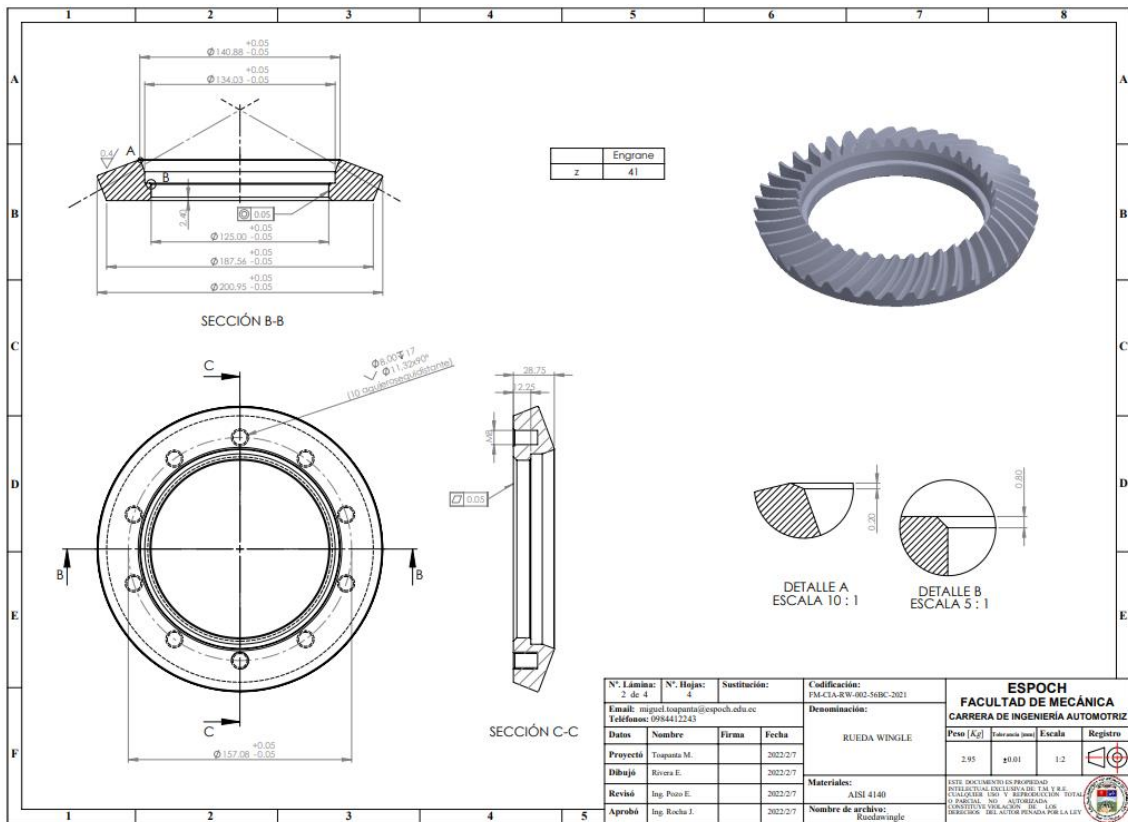
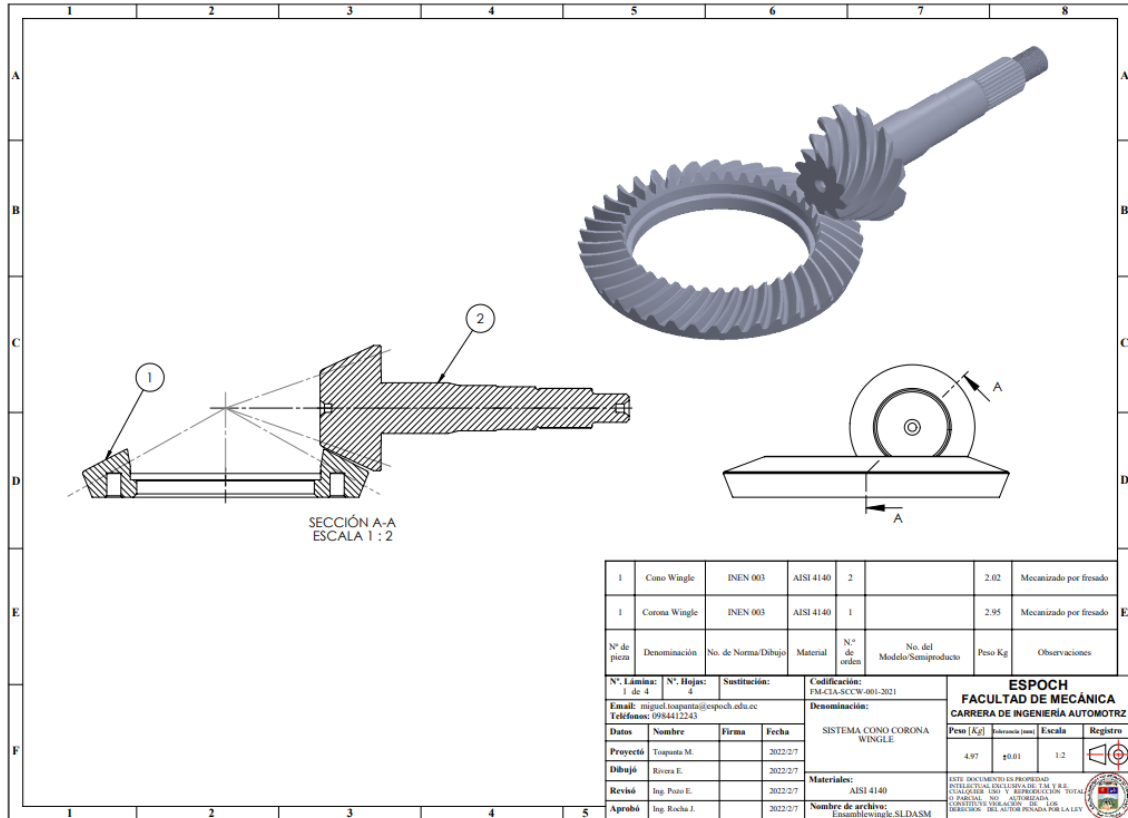
ANEXO C: PLANOS CONO- CORONA DMAX

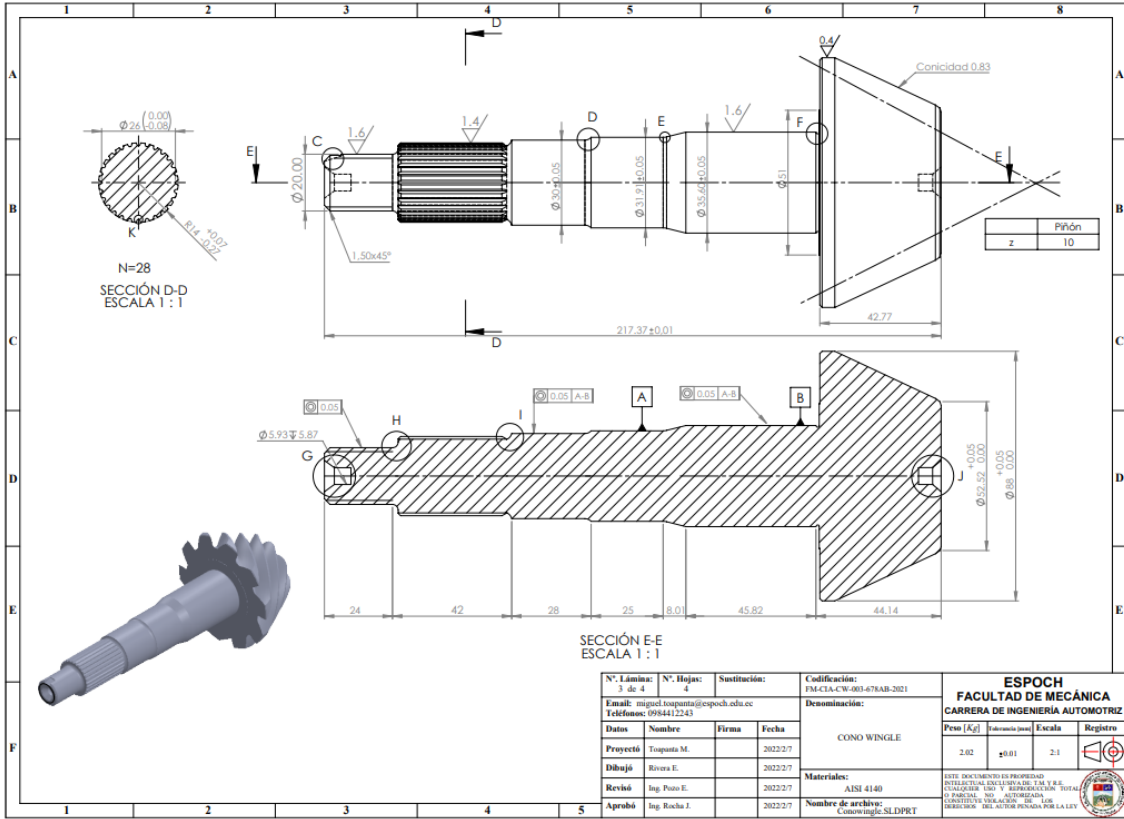




N. Lámina:	N. Hojas:	Sustitución:	Codificación:	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ								
3 de 4	4		PM-CA-CD-003-678AB-2021									
Email: miguel.torres@esPOCH.edu.ec			Denominación:	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Peso [Kg]</th> <th>Tolerancia [mm]</th> <th>Escala</th> <th>Registro</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,85</td> <td>±0,01</td> <td>3:1</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Peso [Kg]	Tolerancia [mm]	Escala	Registro	2,85	±0,01	3:1	
Peso [Kg]	Tolerancia [mm]	Escala	Registro									
2,85	±0,01	3:1										
Teléfono: 0984412243			CONO DMAX									
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: AISI 4140 CONSIDERAR LA TOLERANCIA DE LOS COMPONENTES DEL AUTOR PENADA POR LA LEY								
Proyectó	Torres M.		2022/7									
Dibujó	Rivas E.		2022/7									
Revisó	Ing. Panto E.		2022/7									
Aprobó	Ing. Rocha J.		2022/7									
Número de archivo:			Conosmax.SLDPRJT									

ANEXO D: PLANOS CONO- CORONA WINGLE





N° Lámina:	N° Hojas:	Sustitución:	Codificación:
1 de 4	4		FMCA/CA/001-678AB-2021
Email:	Desominação:		
mguel.toupana@espoeh.edu.ec	CONO WINGLE		
Teléfono:	Materiales:		
0984412243	AISI 4140		
Datos	Nombre	Firma	Fecha
Proyectó	Toupana M.		2022/7
Dibujó	Rivera E.		2022/7
Revisó	Ing. Panto E.		2022/7
Aprobó	Ing. Rocha I.		2022/7
Nombre de archivo:		ConoWingle.SLDPRJT	

ESPOCH			
FACULTAD DE MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ			
Peso [Kg]	Tolerancia [mm]	Escala	Registro
2.62	±0.01	2:1	

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD
INSTITUCIONAL DE UNIVERSIDAD ESPOCH S.A.S. E.E.
CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O
PARCIAL SIN AUTORIZACION TOTAL O
CONSTITUYE INFRACCION DEL DERECHO
DE DISEÑO DEL AUTOR PENADA POR LA LEY



ANEXO E: CÓDIGOS ISO CONO DMAX

%	G1X196.435A0.
:00	G1X196.03A0.
(Setup 1)	G1X189.555A0.
G21	G1X189.534A0.
G0 G17 G40 D1 G80 G90	G1X189.181A0.
T1 M6	G1X154.569A0.
G0 G90 G54 X0.0 Y0.0 A0.0 S1600M3	G1X154.532A0.
G43H1 Z30	G1X97.878A0.
A0.F7620.	G1X97.856A0.
G0X250.Y0.Z51.A0.	G1X97.84A0.
G1Z45.A0.F300.	G1X96.105A0.
G1X243.379A0.F400.	G1X80.569A0.
G1X243.344A0.	G1X80.53A0.
G1X243.24A0.	G1X40.316A0.
G1X243.043A0.	G1X39.555A0.
G1X242.726A0.	G1X39.518A0.
G1X242.637A0.	G1X39.431A0.
G1X242.568A0.	G1X39.146A0.
G1X242.548A0.	G1X38.745A0.
G1X242.427A0.	G1X38.191A0.
G1X242.252A0.	G1X37.638A0.
G1X242.015A0.	G1X14.981A0.
G1X241.491A0.	G1X14.947A0.
G1X240.829A0.	G1X14.927A0.
G1X238.596A0.	G1X10.A0.
G1X236.456A0.	G1Z51.A0.
G1X235.314A0.	G1Y-3.406Z50.886A356.2
G1X234.365A0.	G1Y-3.006Z44.9A356.2
G1X234.188A0.	G1Y0.Z45.A356.2
G1X233.832A0.	G1X14.922A356.2
G1X233.318A0.	G1X14.941A356.2
G1X231.025A0.	G1X15.001A356.2
G1X230.082A0.	G1X37.672A356.2
G1X228.865A0.	G1X38.146A356.2
G1X227.246A0.	G1X38.462A356.2
G1X225.333A0.	G1X38.779A356.2
G1X223.435A0.	G1X39.194A356.2
G1X222.17A0.	G1X39.454A356.2
G1X221.281A0.	G1X39.532A356.2
G1X220.653A0.	G1X39.55A356.2
G1X220.374A0.	G1X40.32A356.2
G1X220.146A0.	G1X80.524A356.2
G1X219.767A0.	G1X80.563A356.2
G1X217.13A0.	G1X80.603A356.2
G1X216.161A0.	G1X97.838A356.2
G1X214.896A0.	G1X97.858A356.2
G1X213.32A0.	G1X97.917A356.2
G1X211.314A0.	G1X154.526A356.2
G1X209.52A0.	G1X154.566A356.2
G1X207.8A0.	G1X154.842A356.2
G1X207.015A0.	G1X189.531A356.2
G1X206.516A0.	G1X189.551A356.2
G1X206.358A0.	G1X196.35A356.2
G1X206.239A0.	G1X196.508A356.2
G1X197.817A0.	G1X196.746A356.2
G1X197.238A0.	G1X197.101A356.2
G1X196.843A0.	G1X197.22A356.2
G1X196.633A0.

ANEXO F: CÓDIGOS ISO CORONA DMAX

%
:O0
(Setup 1)
(Horizontal Roughing)
G21
G0 G17 G40 D1 G80 G90
T1 M6
G0 G90 G54 X0.0 Y0.0 A0.0 S800M3
G43H1 Z30
A180.F7620.
G0Z36.2
X67.786Y106.031
G1Z28.155F160.
G1Z27.52F240.
G1X67.911Y105.952Z27.494
G1X69.892Y104.656Z27.077
G1X71.848Y103.323Z26.659
G1X73.74Y101.98Z26.25
G17
G02X71.848Y103.323I-
0.019J0.013K26.25R125.848F320.
G1X73.74Y101.98
G1X70.834Y97.884
G03X95.306Y74.302I0.051J-0.057K26.25R120.842
G03X70.834Y97.884I0.847J0.77K26.25R119.706
G1X67.903Y93.834
G02X39.097Y109.049I-0.067J0.029K26.25R115.841
G02X67.903Y93.834I0.447J1.002K26.25R114.752
G1X64.972Y89.783
G03X84.792Y71.393I0.055J-0.059K26.25R110.842
G03X64.972Y89.783I0.879J0.829K26.25R109.638
G1Z26.885F480.
G0Z36.2
G0
X67.786Y106.031
G1Z24.155F160.
G1Z23.52F240.
G1X67.911Y105.952Z23.494
G1X69.892Y104.656Z23.077
G1X71.848Y103.323Z22.659
G1X73.74Y101.98Z22.25
G02X71.848Y103.323I-
0.019J0.013K22.25R125.848F320.
G1X73.74Y101.98
G1X70.834Y97.884
G03X95.306Y74.302I0.051J-0.057K22.25R120.842
G03X70.834Y97.884I0.847J0.77K22.25R119.706
G1X67.903Y93.834
G02X39.097Y109.049I-0.067J0.029K22.25R115.841
G02X67.903Y93.834I0.447J1.002K22.25R114.752
G1Z22.885F480.
G0Z36.2
G0
X67.786Y106.031
G1Z20.155F160.
G1Z19.52F240.
G1X67.911Y105.952Z19.494
G1X69.892Y104.656Z19.077
G1X71.848Y103.323Z18.659
G1X73.74Y101.98Z18.25
G02X71.848Y103.323I-
0.019J0.013K18.25R125.848F320.
G1X73.74Y101.98
G1X70.834Y97.884
G03X95.306Y74.302I0.051J-0.057K18.25R120.842
G03X70.834Y97.884I0.847J0.77K18.25R119.706
G1X67.903Y93.834
G02X39.097Y109.049I-0.067J0.029K18.25R115.841
G02X67.903Y93.834I0.447J1.002K18.25R114.752
G1Z18.885F480.
G0Z36.2
G0
X67.786Y106.031
G1Z16.155F160.
G1Z15.52F240.
G1X67.911Y105.952Z15.494
G1X69.892Y104.656Z15.077
G1X71.848Y103.323Z14.659
G1X73.74Y101.98Z14.25
G02X71.848Y103.323I-
0.019J0.013K14.25R125.848F320.
G1X73.74Y101.98
G1X70.834Y97.884
G03X95.306Y74.302I0.051J-0.057K14.25R120.842
G03X70.834Y97.884I0.847J0.77K14.25R119.706
G1X67.903Y93.834
G02X39.097Y109.049I-0.067J0.029K14.25R115.841
G02X67.903Y93.834I0.447J1.002K14.25R114.752
G1Z14.885F480.
G0Z36.2
G0
X-24.986Y-123.338
G1Z12.155F160.
G1Z11.52F240.
G1X-26.55Y-123.016Z11.238
G1X-28.859Y-122.494Z10.821
G1X-31.158Y-121.93Z10.404
G1X-32.Y-121.706Z10.25
G02X-24.231Y-123.493I0.08J-
0.016K10.25R125.847F320.
G02X-32.Y-121.706I-1.276J-5.912K10.25R119.801
G1X-30.714Y-116.866
G03X-51.288Y-109.424I-
0.064J0.028K10.25R120.845
G03X-30.714Y-116.866I-0.51J-1.205K10.25R119.54
G1X-29.385Y-112.045
G1X-30.089Y-111.852
G03X-24.32Y-111.228I-28.35J-
100.948K10.25R11.041
G03X-19.493Y-114.184I-16.53J-
103.926K10.25R10.677
G02X-29.385Y-112.045I-2.225J-
10.331K10.25R105.278
G1X-36.141Y-110.05
G02X-45.437Y-106.558I-10.809J-
28.479K10.25R85.414
G03X-39.548Y-106.759I-42.133J-
96.093K10.25R10.975
G03X-35.243Y-110.334I-31.012J-
100.861K10.25R10.375
G1X-36.141Y-110.05
G1Z10.885F480.
G0Z36.2
G0
X-53.852Y-108.163
G1Z10.885F160.
G1Z10.25F240.
.....

ANEXO G: CÓDIGOS ISO CONO WINGLE

%
:O0
(Setup 1)
G21
G0 G17 G40 D1 G80 G90
T1 M6
G0 G90 G54 X0.0 Y0.0 A0.0 S1600M3
G43H1 Z30
A0.F7620.
G0X115.Y0.Z51.A0.
G1Z45.A0.F300.
G1X113.196A0.F400.
G1X113.18A0.
G1X113.048A0.
G1X112.895A0.
G1X112.632A0.
G1X112.481A0.
G1X112.234A0.
G1X111.518A0.
G1X111.025A0.
G1X110.777A0.
G1X110.359A0.
G1X109.887A0.
G1X107.41A0.
G1X106.145A0.
G1X105.038A0.
G1X103.615A0.
G1X102.35A0.
G1X100.136A0.
G1X98.604A0.
G1X98.179A0.
G1X97.572A0.
G1X97.116A0.
G1X96.891A0.
G1X96.47A0.
G1X95.548A0.
G1X93.969A0.
G1X92.863A0.
G1X91.536A0.
G1X90.016A0.
G1X87.674A0.
G1X85.668A0.
G1X84.296A0.
G1X83.553A0.
G1X83.07A0.
G1X82.622A0.
G1X82.476A0.
G1X82.128A0.
G1X79.678A0.
G1X78.948A0.
G1X77.683A0.
G1X76.418A0.
G1X74.52A0.
G1X72.623A0.
G1X71.407A0.
G1X70.206A0.
G1X69.776A0.
G1X69.46A0.
G1X67.879A0.
G1X66.93A0.
G1X63.135A0.
G1X62.503A0.
G1X61.85A0.
G1X61.331A0.
G1X60.977A0.
G1X60.625A0.
G1X60.364A0.
G1X60.141A0.
G1X60.116A0.
G1X60.092A0.
G1X13.207A0.
G1X6.551A0.
G1X6.546A0.
G1X6.254A0.
G1X6.25A0.
G1X6.065A0.
G1X6.054A0.
G1X5.804A0.
G1X5.676A0.
G1X-20.177A0.
G1X-20.671A0.
G1X-21.225A0.
G1X-21.699A0.
G1X-21.867A0.
G1X-21.877A0.
G1X-48.185A0.
G1X-48.459A0.
G1X-48.665A0.
G1X-87.163A0.
G1X-87.493A0.
G1X-87.911A0.
G1X-88.171A0.
G1X-88.21A0.
G1X-88.25A0.
G1X-88.369A0.
G1X-88.586A0.
G1X-88.823A0.
G1X-89.139A0.
G1X-89.456A0.
G1X-89.93A0.
G1X-113.17A0.
G1X-113.185A0.
G1X-113.203A0.
G1X-115.A0.
G1Z51.A0.
G1Y-3.406Z50.886A356.2
G1Y-3.006Z44.9A356.2
G1Y0.Z45.A356.2
G1X-113.201A356.2
G1X-113.182A356.2
G1X-112.979A356.2
G1X-90.016A356.2
G1X-89.7A356.2
G1X-89.384A356.2
.....

ANEXO H: CÓDIGOS ISO CORONA WINGLE

%	G1X9.004Y117.237
:00	G1X-1.027Y117.578
(Setup 1)	G1X-11.05Y117.061
(Horizontal Roughing)	G1X-20.993Y115.69
G21	G1X-30.782Y113.475
G0 G17 G40 D1 G80 G90	G1X-40.347Y110.432
T1 M6	G1X-49.617Y106.584
G0 G90 G54 X0.0 Y0.0 A0.0 S800M3	G1X-58.524Y101.958
G43H1 Z30	G1X-67.004Y96.589
A180.F7620.	G1X-74.994Y90.515
G0Z34.756	G1X-82.437Y83.781
X3.054Y-122.262	G1X-89.278Y76.437
G1Z26.911F160.	G1X-95.466Y68.535
G1Z26.276F240.	G1X-100.957Y60.133
G1X-1.531Y-122.303Z25.467	G1X-105.711Y51.294
G1X-4.147Y-122.214Z25.006	G1X-109.693Y42.081
G17	G1X-112.874Y32.561
G02X39.614Y-	G1X-115.23Y22.805
115.73I0.083J0.157K25.006R122.444F320.	G1X-116.744Y12.883
G02X-4.147Y-122.214I0.201J-	G1X-117.406Y2.868
0.64K25.006R121.652	G1X-117.211Y-7.167
G1X-3.977Y-117.217	G1X-116.159Y-17.149
G1X-1.522Y-117.3	G1X-114.259Y-27.004
G1X8.564Y-116.996	G1X-111.524Y-36.661
G1X18.533Y-115.837	G1X-107.975Y-46.049
G1X28.368Y-113.832	G1X-103.637Y-55.1
G1X37.995Y-110.995	G1X-98.542Y-63.748
G1X47.345Y-107.345	G1X-92.728Y-71.929
G1X56.349Y-102.911	G1X-86.236Y-79.584
G1X64.942Y-97.724	G1X-79.115Y-86.656
G1X73.06Y-91.823	G1X-71.415Y-93.095
G1X80.645Y-85.249	G1X-63.194Y-98.852
G1X87.641Y-78.053	G1X-54.511Y-103.887
G1X93.997Y-70.285	G1X-45.43Y-108.162
G1X99.667Y-62.003	G1X-36.018Y-111.646
G1X104.608Y-53.267	G1X-26.342Y-114.314
G1X108.786Y-44.141	G1X-16.474Y-116.146
G1X112.169Y-34.691	G1X-6.432Y-117.134
G1X114.734Y-24.987	G1X-3.977Y-117.217
G1X116.46Y-15.1	G1X-3.807Y-112.22
G1X117.336Y-5.102	G1X-6.102Y-112.142
G1X117.354Y4.935	G1X-15.771Y-111.191
G1X116.516Y14.937	G1X-25.219Y-109.437
G1X114.827Y24.83	G1X-34.483Y-106.883
G1X112.3Y34.544	G1X-43.494Y-103.547
G1X108.952Y44.006	G1X-52.188Y-99.455
G1X104.808Y53.147	G1X-60.501Y-94.634
G1X99.9Y61.902	G1X-68.372Y-89.122
G1X94.261Y70.205	G1X-75.743Y-82.958
G1X87.935Y77.997	G1X-82.561Y-76.187
G1X80.966Y85.22	G1X-88.776Y-68.858
G1X73.406Y91.822	G1X-94.343Y-61.026
G1X65.309Y97.754	G1X-99.221Y-52.747
G1X56.736Y102.973	G1X-103.374Y-44.081
G1X47.749Y107.441	G1X-106.772Y-35.093
G1X38.413Y111.125	G1X-109.39Y-25.847
G1X28.796Y113.999	G1X-111.209Y-16.412
G1X18.969Y116.042

ANEXO I: IMÁGENES CONO DMAX



IMG_20210506_10
5605.jpg



IMG_20210506_10
5616.jpg



IMG_20210506_10
5618.jpg



IMG_20210506_10
5620.jpg



IMG_20210506_10
5646.jpg



IMG_20210506_10
5745.jpg



IMG_20210506_10
5746.jpg



IMG_20210506_10
5830.jpg



IMG_20210506_10
5853.jpg



IMG_20210506_10
5854.jpg



IMG_20210506_10
5905.jpg



IMG_20210506_10
5909.jpg



IMG_20210506_10
5915.jpg



IMG_20210506_10
5935.jpg



IMG_20210506_10
5938.jpg



IMG_20210506_10
5959.jpg



IMG_20210506_11
0003.jpg



IMG_20210506_11
0005.jpg



IMG_20210506_11
0034.jpg



IMG_20210506_11
0038.jpg



IMG_20210506_11
0114.jpg



IMG_20210506_11
0128.jpg



IMG_20210506_11
0132.jpg



IMG_20210506_11
0139.jpg



IMG_20210506_11
0207.jpg



IMG_20210506_11
0211.jpg



IMG_20210506_11
0230.jpg



IMG_20210506_11
0233.jpg



IMG_20210506_11
0238.jpg



IMG_20210506_11
0308.jpg



IMG_20210506_11
0310.jpg



IMG_20210506_11
0517.jpg



IMG_20210506_11
0530.jpg



IMG_20210506_11
0534.jpg



IMG_20210506_11
0622.jpg



IMG_20210506_11
0633.jpg



IMG_20210506_11
0639.jpg



IMG_20210506_11
0642.jpg



IMG_20210506_11
0654.jpg



IMG_20210506_11
0703.jpg



IMG_20210506_11
0713.jpg



IMG_20210506_11
0718.jpg



IMG_20210506_11
0726.jpg



IMG_20210506_11
0729.jpg



IMG_20210506_11
0735.jpg



IMG_20210506_11
0741.jpg



IMG_20210506_11
0742.jpg



IMG_20210506_11
0746.jpg

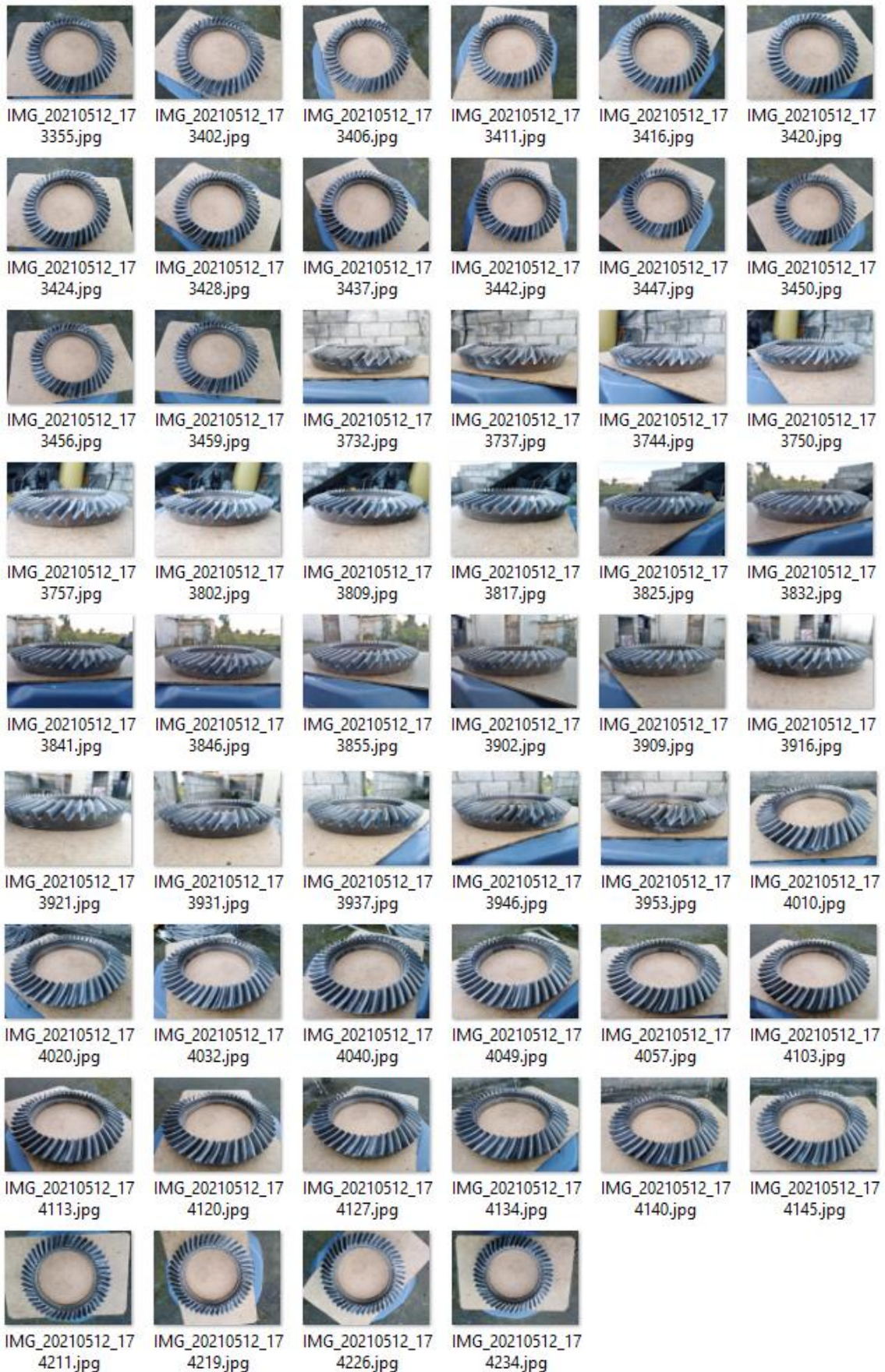


IMG_20210506_11
0749.jpg



IMG_20210506_11
0753.jpg

ANEXO J: IMÁGENES CORONA DMAX



ANEXO K: IMÁGENES CONO WINGLE



IMG_20211231_14
1656.jpg



IMG_20211231_14
1714.jpg



IMG_20211231_14
1720.jpg



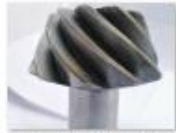
IMG_20211231_14
1728.jpg



IMG_20211231_14
1732.jpg



IMG_20211231_14
1814.jpg



IMG_20211231_14
1822.jpg



IMG_20211231_14
1828.jpg



IMG_20211231_14
1832.jpg



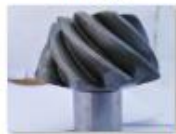
IMG_20211231_14
1845.jpg



IMG_20211231_14
1854.jpg



IMG_20211231_14
1926.jpg



IMG_20211231_14
1934.jpg



IMG_20211231_14
2000.jpg



IMG_20211231_14
2019.jpg



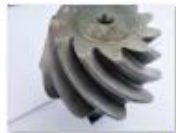
IMG_20211231_14
2035.jpg



IMG_20211231_14
2112.jpg



IMG_20211231_14
2125.jpg



IMG_20211231_14
2130.jpg



IMG_20211231_14
2134.jpg



IMG_20211231_14
2144.jpg



IMG_20211231_14
2152.jpg



IMG_20211231_14
2156.jpg



IMG_20211231_14
2202.jpg



IMG_20211231_14
2205.jpg



IMG_20211231_14
2211.jpg



IMG_20211231_14
2224.jpg



IMG_20211231_14
2227.jpg



IMG_20211231_14
2236.jpg



IMG_20211231_14
2241.jpg



IMG_20211231_14
2250.jpg



IMG_20211231_14
2300.jpg



IMG_20211231_14
2304.jpg



IMG_20211231_14
2307.jpg



IMG_20211231_14
2316.jpg



IMG_20211231_14
2324.jpg



IMG_20211231_14
2413.jpg



IMG_20211231_14
2421.jpg



IMG_20211231_14
2426.jpg



IMG_20211231_14
2443.jpg



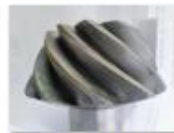
IMG_20211231_14
2825.jpg



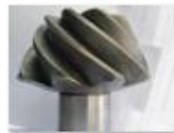
IMG_20211231_14
2832.jpg



IMG_20211231_14
2838.jpg



IMG_20211231_14
2843.jpg



IMG_20211231_14
2858.jpg



IMG_20211231_14
2904.jpg



IMG_20211231_14
2912.jpg

ANEXO L: IMÁGENES CORONA WINGLE

